

МОДЕЛЬ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АТП ЗА ДОПОМОГОЮ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ

Д.т.н. Л.І. Нефьодов, к.т.н Д.О. Маркозов, к.т.н І.Г. Ільге, В.Г. Асаян, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті проаналізовано вплив характеристик автомобіля на його експлуатацію. Побудована модель вибору транспортних засобів для АТП. Розроблено Web-додаток для автоматичного розрахунку експлуатаційних властивостей автомобіля.

В статтє проанализировано влияние характеристик автомобиля на его эксплуатацию. Построена модель выбора транспортных средств для АТП. Разработано Web-приложение для автоматического расчета эксплуатационных свойств автомобиля.

The article includes the analysis of influence of vehicle parameters(characteristics) on its operation. A model was build for selection of vehicles for road transport enterprises. A web application has been developed for the automatic calculation of vehicle operation properties.

Ключові слова: експлуатаційні властивості, тягово-швидкісні властивості, дорожньо-транспортні пригоди, силовий баланс, динамічна характеристика, графік прискорень, web-додаток.

Постановка проблеми і аналіз літератури

У сучасному світі автотранспорт займає важливе місце в побуті кожного з нас. Його використовують для вирішення завдань у безлічі областей діяльності людини: як особистий транспорт, для перевезення вантажу, для перевезення пасажирів, у сільському господарстві і т.і. Але, не дивлячись на стрімкий розвиток технологій і загальну корисність, автомобіль є найнебезпечнішим транспортним засобом на планеті. Тому для автотранспортного підприємства (АТП) виникає проблема визначити склад транспортних засобів, який би задовольняв вимогам конкретного АТП і забезпечував ефективність експлуатації.

Оскільки автомобіль є складним механізмом, при його експлуатації потрібно регулярно стежити за множиною належних йому властивостей, показників. У теорії автомобіля розглядається тільки найважливіше - визначення ступеня придатності транспортного засобу до експлуатації. У свою чергу, експлуатаційні характеристики містять у собі такі властивості:

- тягово-швидкісні;
- економічність витрати палива;
- плавність пересування;
- розгін-гальмові та ін.

Тягово-швидкісні властивості буває не так легко поррахувати. Виходить, що для того, щоб отримати необхідну інформацію, наприклад під час вибору окремих характеристик автомобіля при його моделюванні, необхідні велика кількість часу і додаткові літературні джерела. Майже немає аналогів, які допомагають впоратися з цими незручностями, а той, що є, не вирішує усі проблеми і навіть створює нові.

Е. А. Чудаков в 1935-му році вперше сформулював основні поняття науки під назвою «теорія автомобіля» [1], видавши однойменну книгу. Теорія автомобіля поступово розширювалася, розвивалися закладені в неї ідеї. В подальшому виходили праці, присвячені методам: розрахунку плавності ходу (Р. В. Ротенберг [2]), керованості і стійкості (А.С. Литвинов [3]), оцінки прохідності (Я. Е. Фаробін) і розрахунку тягово-швидкісних властивостей автомобіля.

Основною метою на даному етапі розвитку теорії експлуатаційних властивостей є допомога при проектуванні автотранспортного засобу та поглиблене оцінювання характерних рис цих властивостей в системі «водій-автомобіль-дорога-середовище» для подальшого забезпечення оптимальної роботи транспорту. Але до цього моменту приділялося недостатньо уваги моделі вибору транспортного засобу, яка включала б у себе кілька факторів одночасно.

Мета та постановка задачі

Метою дослідження є поліпшення експлуатаційних характеристик транспортного засобу при його виборі для АТП за рахунок розробки моделі прийняття рішень з використанням web-технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: проаналізувати існуючі методи розрахунку експлуатаційних властивостей транспортних засобів; розробити математичну модель розрахунку експлуатаційних властивостей; розробити модель вибору транспортних засобів; розробити веб-додаток для автоматичного розрахунку експлуатаційних властивостей.

Математична модель вибору транспортних засобів

Дослідження параметрів руху автомобіля з урахуванням всіх зв'язків між його окремими елементами являє собою задачу великої складності. Тому при дослідженні будь-яких експлуатаційних властивостей, в тому числі і його керованості і стійкості, автомобіль замінюється розрахунковою моделлю, яка в більшій чи меншій мірі відображає реальний автомобіль.

Складність розрахункової моделі і ступінь її наближення до реального автомобіля диктується рядом розмірковувань. При виборі розрахункової моделі перш за все слід враховувати цілі завдання, яке вирішується. Наприклад, в тих випадках, коли потрібно встановити якісні характеристики автомобіля в цілому, його розрахункова модель може бути вельми простою і в ній можуть не прийматися до уваги характеристики зв'язків окремих елементів з кузовом або рамою (характеристики підвіски передніх і задніх коліс, характеристики рульової трапеції, механізмів, які розподіляють крутний момент між колесами, і ін.) [3]. Стійкість є одним з найбільш

важливих експлуатаційних властивостей, що впливають на безпеку руху і продуктивність колісних машин [4]

На більшості автомобілів джерелом енергії служить двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Їх властивості потужності належить оцінювати швидкісними характеристиками. Вплив двигуна на динаміку автомобіля визначається швидкісною характеристикою, що представляє собою зміну ефективної потужності і крутного моменту в залежності від швидкості обертання (числа оборотів) валу двигуна при повній або частковій подачі палива [5].

Аналітичне рішення рівняння руху автомобіля в загальному вигляді неможливо, так як невідомі точні функціональні залежності, що зв'язують основні діючі сили зі швидкістю автомобіля. Тому рівняння руху зазвичай вирішують наближено, використовуючи графоаналітичні методи. Найбільш поширені методи силового балансу, балансу потужності і динамічної характеристики [6].

Крутний момент характеризує силу, яку надає двигун автомобілю, щоб в результаті подолати ті чи інші фактори опору руху. Вона помножена на плече її застосування. Потужність - це відношення роботи до інтервалу часу її здійснення. Найбільш важлива швидкісна характеристика - знята при повністю відкритому дроселі. Її визначають як зовнішню. У ній істотні найбільш верхні точки кривих, що відповідають найбільшим потужності N_{max} і моменту M_{max} , які, як правило, і записують в технічні характеристики автомобілів і двигунів.

Зовнішні характеристики двигуна - це ті, які показують залежність ефективності роботи двигуна від частоти обертання колінчастого вала.

В першу чергу прийнято будувати зовнішню характеристику потужності двигуна, вона залежить від кутової швидкості колінчастого вала, за формулою Лейдермана [7]:

$$N_e = N_{e_{max}} \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 + A_3 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (1)$$

де N_e , кВт поточне значення потужності двигуна, відповідне частоті обертання валу двигуна n , об / хв;

$N_{e_{max}}$, кВт - максимальна потужність двигуна при частоті обертання n_N , об / хв;

A_1, A_2, A_3 - емпіричні коефіцієнти, що характеризують тип двигуна внутрішнього згоряння.

Значення емпіричних коефіцієнтів для бензинових двигунів приймається: $A_1 = A_2 = A_3 = 1$. Для дизельних двигунів $A_1 = 0,5; A_2 = 1,5; A_3 = 1$.

Далі будується характеристика крутного моменту двигуна. Щоб вибрати потокове значення n , треба розділити на 7 (рекомендується 6...8) довільних ділянок діапазон частоти обертання валу двигуна з постійним інтервалом Δn (для вирахування діапазону віднімаємо мінімально стійкі обороти n_{min} від n_N)

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{7}. \quad (2)$$

Визначивши N_e для прийнятих значень n , обчислюється відповідні значення крутного моменту двигуна, Н·м:

$$M_e = 9550 \cdot \frac{N_e}{n}. \quad (3)$$

Тягове зусилля на ведучих колесах визначається з виразу, Н:

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_0 \cdot \eta}{r_{\delta}}, \quad (4)$$

де u - передавальні числа передач;

r_{δ} - динамічний радіус колеса, який в нормальних

умовах руху приймають рівним $r_{ст}$, м.

Сила опору повітря, Н:

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3.6^2}, \quad (5)$$

де k - коефіцієнт опору повітрю;

F - лобова площа автомобіля, м²;

V - швидкість автомобіля, км/год.

Лобова площа автомобіля визначається наближено за формулою:

$$F = \alpha \cdot \beta_r \cdot H_r, \quad (6)$$

де α - коефіцієнт заповнення площі;

β_r - ширина;

H_r - висота.

Графік силового балансу і всі наступні будують як функцію швидкості автомобіля V , км год, яка пов'язана з частотою обертання валу двигуна n залежністю:

$$V = 0.377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{u_{ki} \cdot u_0}, \quad (7)$$

де r_k - радіус кочення колеса, м, рівний за відсутності прослизання статичному радіусу $r_{ст}$.

Динамічний фактор автомобіля D визначаємо для різних передач швидкостей руху по формулі:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G} = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot j, \quad (8)$$

де ψ - коефіцієнт дорожнього опору;

$\delta_i \approx 1.04 + 0.04 \cdot u_{ki}^2$ - коефіцієнт впливу обертових мас.

Показниками розгону автомобіля є графіки прискорень, часу та шляху розгону в функції швидкості. Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D , використовуючи формулу:

$$j = (D - \psi) \cdot \frac{g}{\delta}, \quad (9)$$

У загальному випадку задача вибору транспортних засобів для АТП формулюється так. Нехай x рішення, визначене на допустимій множині рішень X . Якість рішення оцінюється багатьма частковими критеріями.

Так як перераховані критерії є суперечливими, неоднорідними, мають різні одиниці і діапазони виміру, а також значення екстремумів (max, min), то передбачається їх нормалізація шляхом введення безрозмірної функції корисності окремих критеріїв.

Залежно від особливостей системи і результатів формалізації можна виділити кілька підходів до оцінки та прийняття єдиного рішення в умовах багатокритеріальності. Велика група схем компромісу заснована на принципі максимальної адитивної корисності окремих критеріїв, тобто на можливості компенсації значень одних часткових критеріїв значеннями інших. Деякі функції корисності окремих критеріїв можуть приймати навіть нульові значення.

Для розробки математичної моделі введемо наступні позначення: t - тип транспортного засобу; s - вид транспортного засобу; $C(X_{ts})$ - витрата палива транспортним засобом t -го типу та s -го виду; q - питома шляхова витрата палива транспортним засобом t -го типу та s -го виду; $P(X_{ts})$ - максимальний підйом, який може здолати транспортний засіб t -го типу та s -го виду.

Математична модель складається з наступних критеріїв:

- мінімальна питома шляхова витрата палива:

$$C(X_{ts}) = \min \sum_{t=1}^{t'} \sum_{s=1}^{s'} q_{ts} \cdot X_{ts}; \quad (10)$$

де:

$$q_{ts} = \frac{g_{e\ ts} \cdot N_{e\ ts}}{V_{ts} \cdot g_{T\ ts}}; \quad (11)$$

V - швидкість руху автомобіля t -го типу та s -го виду, м / с; g_T - щільність палива транспортного засобу t -го типу та s -го виду, кг / л; N_e - поточне значення потужності двигуна транспортного засобу t -го типу та s -го виду, кВт; g_e - питома ефективна витрата палива транспортного засобу t -го типу та s -го виду, г / кВт год;

- максимальний підйом, який може здолати автомобіль:

$$P(X_{ts}) = \max \sum_{t=1}^{t'} \sum_{s=1}^{s'} I_{ts} \cdot X_{ts}. \quad (12)$$

Для наведеної вище математичної моделі існують такі обмеження:

- питома ефективна витрата палива повинна не перевищувати задану $C_{зад}$:

$$\sum_{t=1}^{t'} \sum_{s=1}^{s'} C_{ts} X_{ts} \leq C_{зад}; \quad (13)$$

- поточне значення потужності двигуна не повинне перевищувати задане $N_{e\ зад}$:

$$\sum_{t=1}^{t'} \sum_{s=1}^{s'} N_{e\ ts} X_{ts} \leq N_{e\ зад}; \quad (14)$$

- максимальний підйом, який може здолати автомобіль, повинен перевищувати задане $P_{зад}$:

$$\sum_{t=1}^{t'} \sum_{s=1}^{s'} P_{ts} X_{ts} \geq P_{зад}; \quad (15)$$

позитивність та дискретність змінних:

$$X_{ts} = \{0,1\}, \text{ де } X_{ts} = 1, \text{ якщо обраний}$$

транспортний засіб t -го типу і s -го виду, та $X_{ts} = 0$ в іншому випадку.

Наведена модель (10) – (15) відноситься до задач багатокритеріальної дискретної оптимізації з булевыми змінними.

Розробка web-додатка

Форма, з якою взаємодіє користувач (рис. 1), має кнопку "Зробити розрахунки", при натисканні на неї відбувається автоматичне обчислення по заданим параметрам і побудова графіків. Кнопка "File" відкриває стандартний браузер файлів локального пристрою, що дозволяє завантажити збережені раніше дані для повторного використання.

Нижче розташований список моделей автомобіля, що випадає з переліком заздалегідь занесених розробником в БД автомобілів. Після вибору потрібної моделі майже всі поля, які відносяться до характеристик автотранспорту, заповнюються автоматично, потім залишається вибрати зовнішні фактори опору руху.

Перерахування полів даних:

- вікно «Дані автомобіля», що розгортається при натисканні на неї (рис. 2). У цьому вікні присутні такі поля введення: «Повна маса автомобіля, кг», «Максимальна потужність, кВт», «Частота обертання валу двигуна при макс. потуж., об/хв.», «Передавальне число Головної передачі», «Передавальне число I-ої передачі», «Передавальне число II-ої передачі», «Передавальне число III-ої передачі», «Передавальне число IV-ої передачі», «Передавальне число V-ої передачі», «Висота, м», «Ширина, м» і перемикач «Тип двигуна»;

- випадаючий список «ККД трансмісії автомобіля»;
- випадаючий список «Тип кузова автомобіля»;
- випадаючий список «Тип і стан дорожнього покриття»;
- випадаючий список «Категорія ділянки»;
- бігунок «Ухил дороги у %»;
- випадаючий список «Розмір шин»;
- блок з перерахуванням деяких підказок для користувача.

Всі значення в наданих полях введення можна змінювати вручну у рамках вказаного формату.

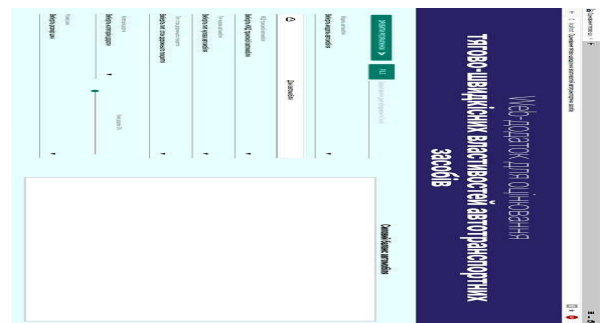


Рис. 1. Веб-сторінка в нормальному вигляді, що завантажена через браузер користувачем

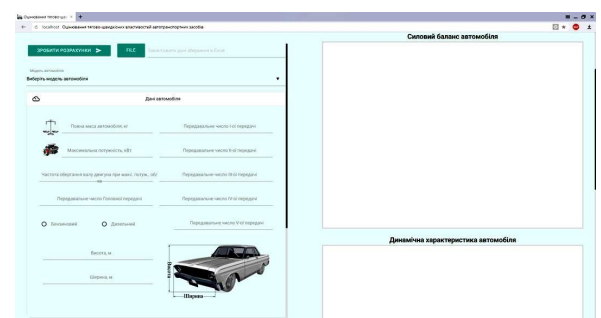


Рис. 2. Вікно «Дані автомобіля»

Додаток справно відображається на ноутбучі (1366x768 пікселів), планшеті і смартфоні (рис. 3).

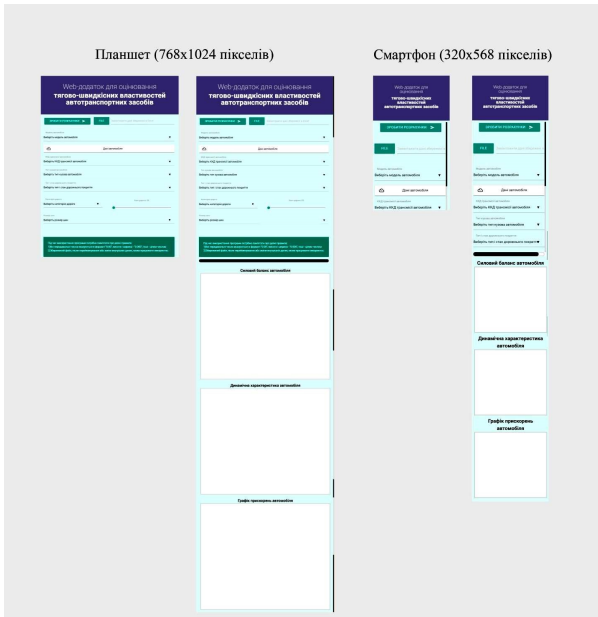


Рис. 3. Веб-додаток, який відкрит на екрані планшета і смартфона

Після правильного заповнення форми і натискання на кнопку "Зробити розрахунки", з'являється діалогове вікно (рис. 4), яке дозволяє зберегти початкові і отримані в кінці обчислень дані у вигляді звіту (рис. 5) формату «.xls».

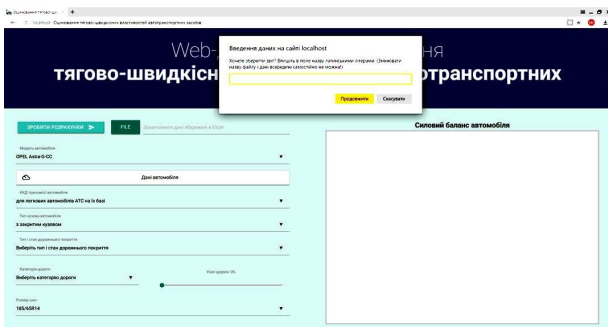


Рис. 4. Діалогове вікно збереження файлу

Початкові дані		Параметри		Значення параметрів	
1	Розмір маси автомобіля, кг	3445	М, кг	790	1354,286
2	Максимальна потужність, кВт	86	МВт, кВт	117,0688	125,0436
3	Число оборотів на валу двигуна, об/хв	4000	об/хв	131,211	129,552
4	Висота, м	1,309	м, м	5,132202	35,70581
5	Діаметр, м	3,452	м, м	269,9496	402,5151
6	Тип двигуна	5	DD	0,253732	0,377833
7	Рідк. середовище	0,5	DD	2,859546	2,202006
8	Складний радіус колеса (м)	0,272	м, м	0,480757	0,480757
9	Угол доріжки (%)	0	градуси	3261,807	3423,173
10	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,262741	0,222683
11	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	1,237187	1,461252
12	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	1,075546	1,134477
13	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	18,1079	16,61251
14	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	104,6248	174,396
15	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,102429	0,110584
16	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,886797	0,915535
17	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	21,0109	44,08719
18	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	134,192	130,185
19	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
20	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
21	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
22	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
23	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
24	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
25	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
26	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
27	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
28	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
29	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623
30	Угол доріжки (градуси)	0	градуси	0,008264	0,078623

Рис. 5. Внутрішня структура Excel-звіту

У результаті справа екрану по ним буде з'являється три графіка з підзаголовками: "Силовий баланс автомобіля", "Динамічна характеристика автомобіля" і "Графік прискорень автомобіля" (рис. 6).

Висновки

Розроблено математичну модель вибору транспортних засобів, що на відміну від існуючих враховує багатокритеріальністю і дає змогу врахувати усі вимоги користувача, а також Web-додаток для зручного розрахунку експлуатаційних властивостей автомобіля.



Рис. 6. Кінцевий результат з побудованими графіками

Для користувача заздалегідь підготовлен список існуючих моделей, серед яких йому необхідно вибрати потрібну. Всі характеристики обраного засобу пересування, що необхідні для подальших обчислень, додані авторами програми і можуть бути відредаговані користувачем.

З огляду на експлуатаційні властивості конкретного засобу транспорту, проектувальник може розрахувати показники, при яких автомобіль буде найбільш продуктивним і не викличе небезпечну дорожню ситуацію. Створений web-додаток з інтуїтивним інтерфейсом дозволяє зробити складні розрахунки за короткий час, на основі яких користувач робить раціональний вибір.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 344 с.
2. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р. В. Ротенберг. – изд. 3-е перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1972. – 392 с.
3. Литвинов А.С. Устойчивость и управляемость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
4. Подригало М.А. Стойкость колесных машин как сложное эксплуатационное свойство / М.А. Подригало, Д.М. Клец, Н.П. Артемов // Автомобильный транспорт. – 2011 г. – 21 июля. – Вып. 29. – С. 179-183.
5. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля: учебник для вузов / Фалькевич Б.С. – М.: Машиз, 1963. – 241 с.
6. Вахламов В.К. Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: Учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / В.К. Вахламов, М.Г. Шатов, А.А. Юрчевский; Под ред. А.А. Юрчевского. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 816 с.
7. Зарицков А.М. Характеристики автомобиля, проектирование сцепления: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автомобили» для студентов специальности 190601 дневной и заочной формы обучения / Сост.: А.М. Зарицков.- Омск: Изд-во СибАДИ, 2007.- 48 с.