УДК 629.113.3
DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-3-8

В. І. Бодак

ПОРІВНЯННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ТА АВТОМОБІЛЯ З ДВИГУНОМ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Луцький національний технічний університет

Через зростання кількості автомобілів із двигунами внутрішнього згорання спостерігається значне збільшення викидів в атмосферу шкідливих газів. За останні 100 років викиди в атмосферу CO_2 зросли на 25 %, що спричинило підвищення температури на планеті на 1,5 °С. Це призвело до посилення парникового ефекту. Для відновлення нормальних природних процесів в атмосфері необхідно зменшити викиди шкідливих газів. Великі об'єми газів викидаються в атмосферу внаслідок функціонування багатьох галузей, з яких найбільшою є транспорт (до 30 % світових викидів CO_2 робить транспорт). У великих містах суттєвим є забруднення атмосфери продуктами згоряння паливо-повітряної суміші автомобілів.

Одним із варіантів вирішення проблеми парникового ефекту є заміна автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння на електромобілі. Важливим аспектом, який необхідно розглянути, є не лише процес експлуатації бензинового автомобіля та електромобіля, а й процеси їх виробництва. Адже процес виготовлення тягових батарей є надзвичайно високотехнологічним та складним, а сукупні викиди CO_2 під час виробництва електромобіля перевищують кількість викидів при виробництві аналогічного бензинового автомобіля. Також варто зазначити, що для вироблення електроенергії в Європі широко розповсюдженими є теплоенергостанції, які спалюють органічне паливо. В роботі проведено розрахунок викидів CO_2 при виробництві та експлуатації бензинового Mercedes-Benz B200 та електромобіля, який був створений на базі Mercedes-Benz B200 – Mercedes-Benz B250E Electric Drive.

Розрахунки викидів CO_2 проводилися для процесу виробництва, експлуатації та утилізації з періодами 5 років, 10 років, 15 років та пробігами 150 тис. км, 300 тис. км, 450 тис. км. Згідно з проведеними розрахунками після пробігу обома транспортними засобами 150 тис. км кількість викидів CO_2 є однаковою, як для уже виробленого автомобіля з ДВЗ, так і при виробництві нового електромобіля з виробленням електроенергії для його зарядки.

Ключові слова: електромобіль, автомобіль, двигун внутрішнього згоряння, електродвигун, викиди CO_2, літій-іонна батарея, навколишнє середовище, утилізація.

Вступ

Зростання кількості автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) призвело до значного збільшення викидів шкідливих речовин із вихлопними газами в атмосферу, зокрема вуглекислого газу, що негативно впливає на навколишнє середовище (рис. 1).

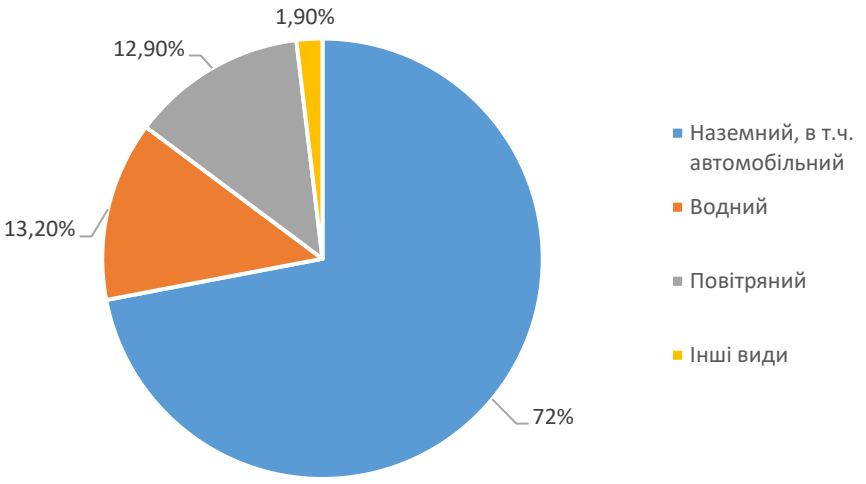

Рис. 1. Частки викидів CO_2 різними видами транспорту (власний рисунок, на основі [1])

У світі нараховується понад 1,5 млрд одиниць автомобільного транспорту, з них 65 % – це легкові. Щоб зменшити забруднення повітря у багатьох європейських країнах, зокрема Німеччині, ввели заборону для в'їзду у центри міст автомобілів, що мають викиди, які не відповідають вимогам норм

© В. І. Бодак, 2023

Євро-5. Для цього в містах встановлюють відповідні дорожні знаки, а на вітровому склі автомобіля – наклейки, які класифікують автомобілі за рівнем викидів. Автомобіль, що не має відповідного допуску за рівнем викидів, не має права в'їзду у зону дії знаків.

Рис. 2. Автомобіль з ДВЗ, що відповідає нормам Євро-5 (власне фото)

Мінімізують обсяги викидів CO_2 автомобілями шляхом зменшення витрати палива більш сучасними двигунами, застосуванням ефективніших каталізаторів у системі випуску відпрацьованих газів. Варіантом вирішення проблеми викидів вважається переведення автомобілів із ДВЗ на альтернативні види палив, які у процесі спалювання виділяють менше шкідливих газів.

Аналіз джерел

Вважається, що транспортні засоби з електродвигуном найменше забруднюють навколишнє середовище, оскільки під час руху не спалюють паливо та не викидають шкідливі гази [2]. Такий підхід є необ'єктивним, адже під час виробництва нових транспортних засобів з електродвигунами викидається в атмосферу значно більше викидів, аніж при виробництві аналогічного авто з бензиновим двигуном.

Якщо припустити, що виробництво електромобіля та електроенергії для його зарядки здійснюється з використанням повністю відновлюваних джерел енергії, тоді висновок про екологічність електромобіля є справедливим. Однак такий варіант виробництва є тільки теоретично можливим. На практиці виробництво значної частини електроенергії відбувається з використанням теплоелектростанцій, що спалюють органічне паливо (газ, вугілля). Слід зауважити, що європейські заводи, які випускають електромобілі, затрачають менше енергії та продукують менше викидів, аніж такі ж заводи, розміщені в Китаї [3]. Законодавство європейських країн змушує заводи максимально заощаджувати енергію та зводити до мінімуму викиди в атмосферу під час виробництва. В Китаї ці вимоги не такі жорсткі.

Вважається, що значними є викиди і при виробництві, і при утилізації тягових батарей електромобілів. Недослідженими залишаються процеси переробки та використання в інших галузях використаних тягових батарей електромобілів.

При експлуатації заміна тягових батарей не є необхідною, оскільки вона у разі раціонального використання втрачає 3 % залишкової ємності щорічно, що означає лише зменшення її ємності, а не вихід із ладу.

Малодослідженими є процеси викидів шкідливих газів при виробництві електромобілів. Порівняння автомобіля із двигуном внутрішнього згоряння та електромобіля проводилося тільки на стадії експлуатації. Політикою розвинутих країн світу пропагується та заохочується перехід на нові електромобілі.

Метою роботи є порівняння викидів CO_2, пов'язаних із виробництвом та використанням нового електромобіля з викидами при подальшому використанні вже експлуатованих робочих автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння, оскільки викиди при виробництві автомобіля із ДВЗ вже відбулися. Порівняльну оцінку ми проводили для автомобіля з бензиновим двигуном. Розрахунки проводилися для середньорічного пробігу 30 тис. км періодом 5 років, 10 років, та 15 років. Тобто пробіг транспортних засобів при розрахунках становив 150 тис. км, 300 тис. км та 450 тис. км.

Аналіз проводився на одній і тій же марці і моделі автомобілів Mercedes-Benz у двох комплектаціях B200 (кузов W246) із бензиновим двигуном об'ємом 1595 см3, потужністю 156 к. с. (7,6 л/100 км витрата палива при міському циклі) [4] та Mercedes B250E Electric Drive, який оснащений електродвигуном потужністю 177 к. с. та ємністю батареї 28 кВт/год [5].

Метою аналізу було визначити, чи призведе продовження використання наявного, уже виробленого, автомобіля з ДВЗ до більших загальних викидів CO_2, ніж заміна автомобіля на новий електричний, під час виробництва й експлуатації якого теж необхідно викинути в атмосферу певну кількість CO_2. Отже, визначалися викиди CO_2 на окремих етапах по двох подібних вибраних моделях. У результаті треба визначити пробіг транспортних засобів або період експлуатації з погляду обсягів викидів CO_2, коли заміна випущеного та робочого автомобіля з ДВЗ на новий електричний є виправданою.

Щоб порахувати сукупні викиди CO_2 для транспортних засобів, необхідно порахувати окремі викиди на таких етапах:

1. Виробництво транспортного засобу, що містить добування сировини, виготовлення деталей, компонентів та їх складання.
2. Виробництво палива для автомобіля з бензиновим двигуном, виробництво електроенергії для електромобіля.
3. Технічне обслуговування (викиди при виробництві запасних частин, матеріалів).
4. Утилізація транспортних засобів після використання.

При виробництві автомобіля з ДВЗ та електромобіля є деякі відмінності. Оскільки марка та модель вибраних транспортних засобів є майже однаковими, то при виробництві кузова, шасі, внутрішнього обладнання викиди CO_2 будуть однаковими. Відмінності будуть лише при виробництві двигунів та системи приводу (системи живлення, випуску відпрацьованих газів для автомобіля з ДВЗ та інвертора для електоромобіля). Вибір обсягів викидів CO_2 при виробництві автомобіля базувався на даних із літературних джерел [6]. Для виробництва металу з руди, виготовлення деталей та компонентів, без двигуна та системи приводу, складання їх у готовий автомобіль викиди CO_2 становлять 4300 кг. Викиди вуглекислого газу при виробництві двигуна внутрішнього згоряння та системи приводу становлять 1200 кг. Тобто загальна кількість викидів для автомобіля становить 5500 кг CO_2. При виробництві електродвигуна викиди CO_2 становлять 1100 кг та 700 кг для системи приводу. Рівень викидів в залежності від виду матеріалів при виробництві батарей дуже різний. На основі проаналізованих літературних джерел [3, 6] значення викидів CO_2 було прийнято таким, що дорівнює 177 кг CO_2 кВт/год. Загальні викиди при виробництві цілої батареї Mercedes B250E Electric Drive становлять 28 кВт/год *177, тобто 4956 кг CO_2.

Таблиця 1

Викиди CO_2 при виробництві бензинового автомобіля та автомобіля на електротязі

Тип транспортного засобу	Частина транспортного засобу	Викиди, кг·CO_2	Всього
Бензиновий B200	Двигун внутрішнього згорання	1 000	5500
	Система приводу (система живлення, система випуску відпрацьованих газів)	200	
	Автомобіль без вище перелічених частин	4300	
Електричний B250e	Електродвигун	1100	11056
	Тягова батарея	4956	
	Система приводу (інвертор та додаткове електрообладнання)	700	
	Автомобіль без вище перелічених частин	4300	

Проведемо розрахунок викидів CO_2 при виробництві електроенергії для зарядки батареї електромобіля. Питомі викиди вуглекислого газу під час продукування електроенергії згідно з літературними джерелами [7] становить 790 г CO_2 кВт/год. Середнє споживання електроенергії електромобіля Mercedes B250E Electric Drive становить 23 кВт/год/100км.

Загальну кількість викидів CO_2, щоб отримати електроенергію для зарядки батареї електромобіля за заданий період експлуатації, можна визначити за формулою

$$M_1 = \frac{U_1 \cdot W_1 \cdot L}{100}, \quad (1)$$

де M_1 – загальні викиди CO_2 при виробництві електроенергії для зарядки батареї за заданий період експлуатації, або заданий пробіг, кг; U_1 – питомі викиди CO_2 на 1 кВт виробленої електроенергії (0,634 кг CO_2 кВт/год); W_1 – середнє споживання електроенергії електромобілем (23 кВт/100 км); L – пробіг електромобіля за заданий період експлуатації (приймаємо 30 тис. км за рік).

Електромобіль не спалює палива під час руху транспортного засобу, викиди CO_2 відбуваються лише при його виробництві та виробництві електроенергії для зарядки батареї. Автомобіль, який працює на бензині, спричиняє викиди CO_2 на етапі виробництва бензину та при спалюванні палива двигуном внутрішнього згоряння.

Кількість викидів CO_2 на етапі експлуатації автомобіля залежить від середньої витрати палива, питомих викидів вуглекислого газу під час згоряння 1 літра бензину та пробігу автомобіля за певний період часу. Згідно х даними [8, 9] при спалюванні 1 літра бензину виділяється 2 750 г CO_2. Тоді кількість CO_2, яка викидається протягом певного періоду експлуатації, можна визначити за такою формулою:

$$M_2 = \frac{U_2 \cdot W_2 \cdot L}{100}, \quad (2)$$

де M_2 – загальна кількість викидів CO_2 при спалюванні бензину для руху автомобіля за заданий період експлуатації, або заданий пробіг, кг; U_2 – питомі викиди CO_2 при спалюванні 1л бензину (2,75 кг·CO_2/л); W_2 – середня витрата бензину автомобілем при змішаному циклі (7,6 л/100 км).

При процесі виробництва бензину, що охоплює добування, транспортування, переробку сирої нафти, теж виділяється CO_2. Згідно з літературними джерелами [10] в Європі питомі викиди вуглекислого газу при виробництві бензину становлять 210 г CO_2/л.

Для автомобіля додаткові викиди CO_2 при виробництві бензину можна визначити за формулою:

$$M_3 = \frac{U_3 \cdot W_2 \cdot L}{100}, \quad (3)$$

де M_3 – додаткові зальні викиди CO_2 при виробництві бензину, кг; U_3 – питомі викиди вуглекислого газу при виробництві бензину (0, 21 кг·CO_2/л)

Розрахунок сукупних викидів CO_2 протягом циклу використання від виробництва до утилізації проводився як сума значень, розрахованих за формулами (1), (2), (3), та даних, отриманих із літературних джерел. Періоди були вибрані 5 років, 10 років, 15 років із середньорічним пробігом 30 тис. км, тобто 150 тис. км, 300 тис. км, 450 тис. км.

Під час технічного обслуговування автомобіля необхідно проводити заміну моторного масла через 15 тис. км, охолоджуючої рідини – через 50 тис. км.

Викиди CO_2, що здійснюються при виробництві матеріалів для проведення технічного обслуговування, враховувалися для заміни моторного масла через 15 тис. км, охолоджуючої рідини – через 50 тис. км, свинцево-кислотних акумуляторів – через 5 років експлуатації, шин – через 60 тис. км.

Розрахунки CO_2 на утилізацію транспортних засобів є незначними. Однак електромобіль має вищі викиди на цьому етапі через наявність батареї. У більшості досліджень цим значенням нехтують.

Хоча, за даними Грінпіс, до 2030 року у світі закінчиться строк служби майже 13 млн тонн нікель-іонних батарей від електромобілів. Можливий рециклінг використаних батарей. Зокрема, компанія Tesla заявила, що жодна із вилучених з експлуатації батарей не буде знищена. Процес рециклінгу дає змогу відновити до 92 % компонентів батареї.

Вважають [11], що при утилізації використаної батареї може викидатися до 30 % CO_2 від виробництва нової. Для значення викидів при утилізації батареї ми прийняли 30 % від виробництва нової. Дані розрахунків зведено в табл. 2 та зображено на рисунку 3.

Таблиця 2

Сукупні викиди вуглекислого газу в кілограмах за повний цикл використання транспортного засобу

	Період використання	Виробництво ТЗ	Виробництво палива (3) електроенергії (1)	Спалювання бензину	Тех.нічнеобслуговування	Утилізація	Всього	Всього без врахування процесу виробництва бензинового автомобіля
Бензиновий	5 років або 150 тис. км	5500	2394	31350	1650	150	41044	35544
	10 років або 300 тис. км	5500	4788	62700	3300	150	76438	70938
	15 років або 400 тис. км.	5500	7182	94050	4950	150	111834	106332
Електричний	5 років або 150 тис. км	11056	21873	-	1120	1487	35536	35536
	10 років або 300 тис. км	11056	43746	-	2240	1487	58529	58529
	15 років або 400 тис. км.	11056	65619	-	3360	1487	81522	81522

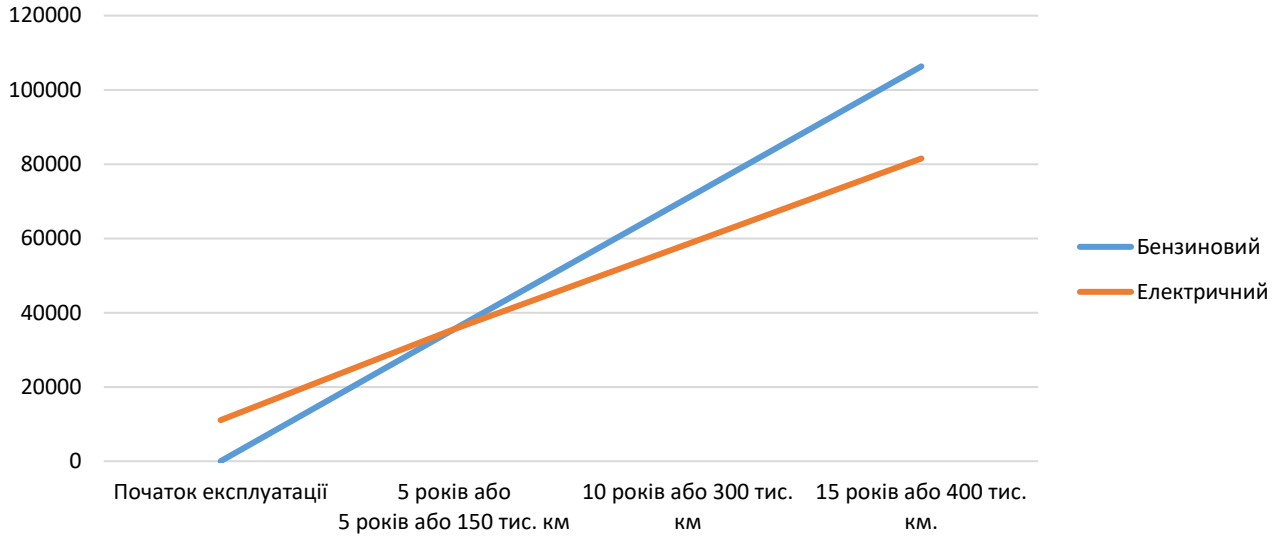

Рис. 3. Порівняння викидів CO_2 для бензинового автомобіля та електромобіля при середньорічному пробігу 30 тис. км

На рис. 3 для електромобіля враховані викиди при його виробництві, для автомобіля ці викиди не враховані, оскільки він за нашим припущенням уже виготовлений, експлуатується і викиди CO_2 вже відбулися.

Висновки

Згідно з проведеними розрахунками кількість викидів вуглекислого газу при виробництві та експлуатації нового електромобіля дорівнює кількості викидів CO_2 автомобілем, що вже експлуатується, після пробігу обома транспортними засобами 150 тис. км. Найбільше викидів CO_2 в електромобіля здійснюється при виробництві батареї та електроенергії для її зарядки. В автомобіля найбільше викидів CO_2 здійснюється від спалювання бензину під час руху. Отримані результати свідчать паро те, що автомобіль, з погляду екології, раціонально замінювати на новий електромобіль, за умови, що власник транспортного засобу активно його використовує, тобто щоденний пробіг становить не менше 100 км. Якщо транспортний засіб використовується мало, тобто за 10 років пробіг становить не більше 100 тис. км, доцільності в заміні автомобіля на електромобіль немає, оскільки це в кінцевому результаті призведе до більшої кількості викидів CO_2, що зумовлено насамперед виробництвом нового електромобіля.

З екологічного погляду є зміст замінювати автомобілі на електромобілі найперше у тих галузях, де транспорт використовується інтенсивно. Швидкої заміни приватних автомобілів, пробіг яких складає

менше 10 тис. км за рік, здійснювати не варто, оскільки це призведе до ще більшого забруднення атмосфери при виробництві великої кількості електромобілів.

Коли необхідно замінити або придбати новий легковий транспортний засіб, з екологічного погляду краще купити новий електромобіль. Таке рішення сприятиме зниженню сукупних викидів CO_2. Однак у разі заміни ефективного робочого автомобіля на новий електричний зменшення викидів CO_2 відбудеться лише після 5 років експлуатації нового електромобіля, або його пробігу 150 тис. км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Горова К. О., Шевердіна А. В. Актуальність застосування електромобілів в Україні. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва.* 2015. № 3(1). С. 105-107. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/piprp_2015_3%281%29__22 (дата звернення: 20.03.2023).

[2] Бодак В. І., Мазилюк П. В. Сучасні колісні транспортні засоби: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)». Луцьк: ЛНТУ, 2021. 143 с.

[3] Shafiee, S.; Fotuhi-Firuzabad M., Rastegar M. Investigating the impacts of plug-in hybrid electric vehicles on power distribution systems. *IEEE Trans. Smart Grid*. 2013. No. 4. P. 1351–1360.

[4] URL: https://mercedes-b-class.infocar.ua/mod_1777_b-class_id4017.html

[5] URL: https://mercedes-b-class.infocar.ua/mod1793b-classelectricdriveid4018.html

[6] Будько В. І. Використання енергії сонячного випромінювання та вітру для заряджання електромобілів: дис. … д-ра. техн. наук: 05.14.08; НТУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського». Київ, 2019. 346 с.

[7] Мокін Б. І., Лобатюк В. А., О. Б. Мокін. Математичні моделі оптимального руху електромобілів з електроприводом постійного струму: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2019. 136 с.

[8] Бодак В. І., Бодак М. В. Перспективи використання електромобілів в Україні. *Наукові нотатки: міжвузівський збірник*. Вип. 62. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. С. 48–51.

[9] Смирнов О. П., Богаєвський О. Б., Смирнова О. А. Розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах. *Вісник НТУ «ХПІ».* 2013. № 29(10.02). С. 119–144.

[10] Аль-Амморі А. Н., Соченко Н. П. Методи і засоби підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії на транспорті: монографія. Київ: НТУ, 2014. 220 с.

[11] Бажинов О. В., Кравцов М. М. Небезпека транспортних засобів: монографія. Харків: ЧП Стариченко Л. А., 2022. С. 51–55.

Бодак Володимир Іванович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, e-mail: lutsk.bodak@gmail.com

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

V. Bodak

Comparison of carbon dioxide gas emissions during production, operation of an electric car and a car with an internal combustion engine

Lutsk National Technical University

Due to the increase in the number of cars with internal combustion engines, there is a significant increase in emissions of harmful gases into the atmosphere. Over the past 100 years, emissions of CO_2 into the atmosphere have increased by 25%, which has caused the temperature on the planet to rise by 1.5 degrees C. This led to an increase in the greenhouse effect. In order to restore normal natural processes in the atmosphere, it is necessary to reduce emissions of harmful gases. Large volumes of gases are released into the atmosphere as a result of the operation of many industries, the largest of which is transport (up to 30% of global CO_2 emissions are caused by transport). In large cities, atmospheric pollution by combustion products of the fuel-air mixture of cars is significant.

One of the options for solving the problem of the greenhouse effect is to replace cars with internal combustion engines with electric cars. An important aspect that must be considered is not only the process of operating a gasoline car and an electric car, but also the processes of their production. After all, the process of manufacturing traction batteries is extremely high-tech and complex, and the cumulative emissions of CO_2 during the production of an electric car exceed the amount of emissions during the production of a similar gasoline car. It is also worth noting that thermal power plants that burn organic fuel are widespread for electricity generation in Europe. The paper calculates CO_2 emissions during the production and operation of the gasoline Mercedes-Benz B200 and the electric car that was created on the basis of the Mercedes-Benz B200 – the Mercedes-Benz B250E Electric Drive.

Calculations of CO_2 emissions were carried out for the production, operation and disposal process with periods of 5 years, 10 years, 15 years and mileages of 150,000 km, 300,000 km, and 450,000 km. According to the calculations, after running both vehicles for 150,000 km. the amount of CO_2 emissions is the same, both for an already produced car with an internal combustion engine, and for the production of a new electric car with the generation of electricity for its charging.

Key words: *electric car, car, internal combustion engine, electric motor, CO_2 emissions, lithium-ion battery, environment, disposal.*

Bodak Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the department of automobiles and transport technologies, e-mail: lutsk.bodak@gmail.com