

УДК 06.61.33

Маммадов Ш. Э.
оглы,
Ибрагимова А. Э.
гызы

Прогнозирование суммарного выброса CO_2 транспортными средствами стран и регионов в зависимости от показателя GDP

Национальное Аэрокосмическое Агентство,
г.Баку, Азербайджанская Республика
e-mail: asadzade@rambler.ru

Аннотация. Настоящая статья посвящена изучению связи между GDP стран и регионов и общим количеством эмитируемого в атмосферу транспортом CO_2 . Существуют различные методики учета общего количества эмиссией метана, CO, CO_2 , SO_2 , и аэрозоля, в которых учитываются такие факторы, как дистанции, пройденные автомобилями, фактор эмиссии каждого загрязнителя, режим работы автомобиля и др. В известных исследованиях была проанализирована корреляционная связь между GDP и количеством автомобилей на каждые 1000 жителей в виде функция Компертца. Отмечено, что между GDP на душу населения в странах и регионах и средней величиной эмиссии CO_2 в атмосферу автомобилями имеется двойная логарифмическая обратная связь, количество эмитируемого CO_2 на одного автомобиля линейно уменьшалось в течение длительного периода, а количества автомобилей на каждые 1000 жителей имеет предел насыщения, независимый от дальнейшего увеличения GDP. Согласно проведенному исследованию, суммарная эмиссия CO_2 автомобилями в атмосферу, с учетом вышеуказанных факторов должна иметь минимум по годам, что подтверждается существующими статистическими данными.

Ключевые слова: эмиссия, функция Компертца, атмосфера, GDP, загрязнение воздуха.

Введение

Как отмечается в работе [1], автомобильный транспорт является одним из основных источников выброса CO_2 в атмосферу. При этом, в общем балансе таких выбросов долевой процент легковых автомобилей растет во времени. Так, например, в течение 1990-2018 г. г. Этот процент почти удвоился. Согласно работе [2], транспортный сектор является одним из основных потребителей нефтепродукции и потребляет около 30% всего производимого в стране энергопродукта. Согласно [3], транспортные средства, эмитируют в атмосферу такие вредные для живых организмов вещества, NO_x , летучие органические вещества, метан, CO, CO_2 , SO_2 , аэрозоль, и др. Существуют различные методики учета общего количества таких эмиссией, в которых учитываются дистанции, пройденные автомобилями, фактор эмиссии каждого загрязнителя, режим работы автомобиля и др. [3]. Вместе с тем, как отмечается в работе [2], общий объем автомобильной эмиссии вредных веществ прежде всего зависит от (1) экологического состояния самих автомашин. Вкратце рассмотрим состояние двух вышеуказанных факторов.

Согласно работе [4], количество автомобилей в Китае стремительно увеличилось и только в 2013-м году было произведено и продано более 20 миллионов автомобилей. При этом одним из важнейших факторов, влияющих на рост количества автомобилей в стране является экономический фактор [5-8]. Таким фактором прежде всего является Общий Домашний Продукт (Gross Domestic Product-GDP) [9]. Существуют многочисленные исследования [10-14], в которых была проанализирована связь между GDP и количеством автомобилей в стране. Для количественной оценки этой связи широко используется функция Компертца, определяемая следующим образом:

$$V_{i,t} = V_{i,0} \exp[a_i \exp(\beta EF_{i,t})] \quad (1)$$

где: индекс i -определяет конкретную страну; t -время (годы); $V_{i,t}$ -количество автомобилей в расчете на 1000 человек населения в году t ; $V_{i,0}$ -количество автомобилей на 1000 человек в стадии насыщения, т.е. предельного роста экономически стимулирующего фактора: $EF_{i,t}$ -значение GDP на душу населения; α, β -модельные показатели.

Явление насыщения количества автомобилей на 1000 человек в зависимости от EF характеризуют кривые показанные на рис. 1.

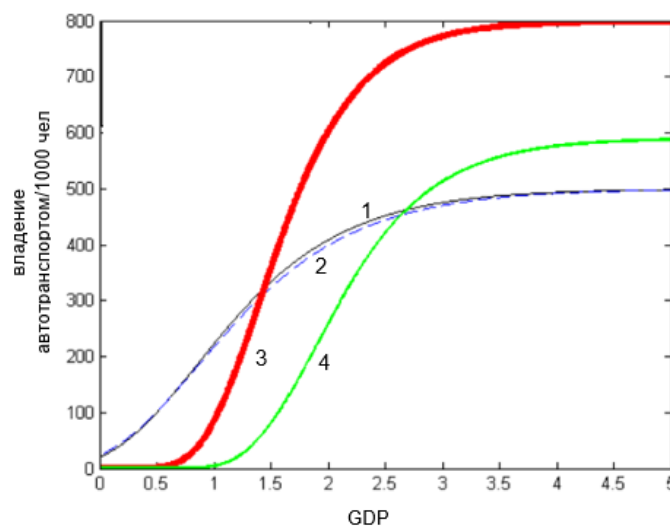


Рис. 1. Кривые насыщения количества автомобилей на 1000 человек в зависимости от GDP на душу населения в разных странах и регионах. Цифрами указаны: 1-согласно данным 0 ECD; 2-по странам Европы; 3-по США; 4-по Японии

Составлено авторами

Что касается вышеуказанного второго фактора-экономического состояния автомобилей, то в этом вопросе одним из важнейших показателей является количество выбросов CO₂ в расчете на одного автомобиля. Как отмечается в работе [15], в плане мероприятий по противодействию отрицательному влиянию климатических изменений законодательством Европейского союза (EU) было установлено, что в расчете на 2012 г. Выбросы CO₂ на километр должны были составить 95 грам. При этом, предусматривалось уменьшение этого показателя 10 граммов на год вплоть до 2030 года. Такое уменьшение может быть достигнуто в

первую очередь путем усовершенствования двигателей и аэродинамических свойств автомобилей. Общая тенденция изменения количества эмиссии CO₂ по годам в расчете среднем на одного автомобилю показана на рис. 2 [13]. Как видно из приведенного на этом рисунке, в интервале 2007-2015 г. г. указанный показатель имел тенденцию линейного изменения по годам.

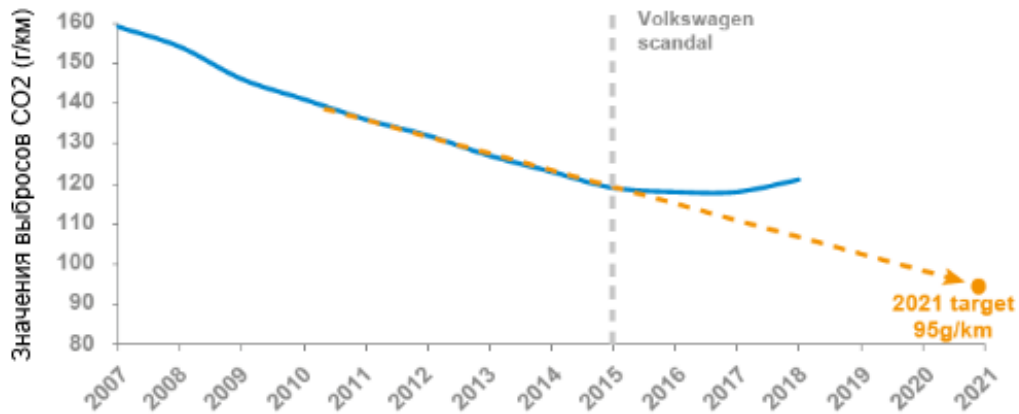


Рис. 2. Изменение среднего значения выбросов CO₂ по годам, в расчете на одного автомобиля [17]

С учетом вышеизложенного актуальным оказывается следующий вопрос исследования: Какова общая взаимосвязь между экономическим фактором состояния страны или региона и уровнем технологического фактора, стимулирующего степень экологичности производимых автомобилей. Выяснение данного вопроса может пролить свет на решение следующего вопроса: Какова общая тенденция изменения по годам суммарной эмиссии CO₂ в атмосферу автомобилями? Далее, в настоящей статье предлагается метод и соответствующая методика, для решения указанных вопросов.

Материалы и методы

Предлагаемый метод решения вышеуказанных вопросов базируется на общей теории функционального анализа и в частности теории оптимизации составленных целевых функционалов. Предлагаемый метод состоит в следующем: (1) Для решения вышеуказанных вопросов составим следующую целевую функцию f определяющую текущую величину выбросов CO₂ в атмосферу:

$$f = \varphi(z_1, z_2) \quad (2)$$

где z_1 -определяет количество автомобилей в данной местности; z_2 -показатель выброса CO₂ с одного автомобиля в данный момент.

Очевидно, что показатели z_1 и z_2 неявным образом взаимосвязаны, т.к. рост GDP во времени с большой вероятностью приводит к развитию технологий и техническому процессу и наоборот. Следовательно, z_1 и z_2 являются сильно коррелированными показателями. В этом случае функция (1) приобретает следующий вид

$$f = \varphi(z_2, z_1(z_2)) \quad (2)$$

2) На базе функции (2) составляется целевой функционал F в виде

$$F = \int_{z_{2min}}^{z_{2max}} \varphi(z_2, z_1(z_2)) dz_2 \quad (3)$$

3) Для вычисления оптимального вида функции $z_1(z_2)$ принимается следующее ограничительное условие

$$\int_{z_{2min}}^{z_{2max}} z_1(z_2) dz_2 = C; C = const \quad (4)$$

4) Решение оптимизационной задачи (3), (4) и вычисление оптимальной функции $z_2 = z_1(z_2)$ при которой F достиг бы минимума.

Применим выше предложенный метод к функции Комперта (1). Так как оба рассматриваемые факторы z_1 и z_2 являются функциями времени, в дальнейшем индекс t не указывается. Целевую функцию в данном случае определим следующим образом

$$f = z_2 V_0 \exp[a \exp[\beta EF]] \quad (5)$$

Для упрощения математической записи z_1 определим как

$$z_1 = \exp[\beta EF] \quad (6)$$

Следовательно, выражение (5) приобретает следующим вид

$$f = z_2 V_0 \exp[az_1(z_2)] \quad (7)$$

где функциональная зависимость $z_1(z_2)$ появилась из-за фактической взаимосвязи EF и z_2 .

На следующем этапе, на базе (7) составляется целевой функционал в виде

$$F = \frac{1}{\Delta z} \int_{z_{2min}}^{z_{2max}} z_2 V_0 \exp[az_1(z_2)] dz_2 \quad (8)$$

где $\Delta z = z_{2max} - z_{2min}$.

Для решение задачи определения оптимальной функции $z_1 = z_1(z_2)$ удовлетворяющих условию (9) показаны на рис. 3.

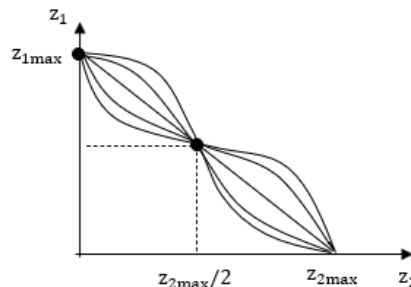


Рис. 3. Возможные виды кривых функции $z_1 = z_1(z_2)$, удовлетворяющих условию (9)

Составлено авторами

С учетом выражений (8) и (9) составляется целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_0 в виде

$$F_0 = \frac{1}{\Delta z} \int_{z_{2min}}^{z_{2max}} z_2 V_0 \exp[az_1(z_2)] dz_2 - \lambda \left[\int_{z_{2min}}^{z_{2max}} z_1(z_2) dz_2 - C \right] \quad (10)$$

где λ -множитель Лагранжа.

Согласно [14] решение задачи (10) должно удовлетворить условию

$$\frac{d\left\{\frac{z_2}{\Delta z} V_0 \exp[az_1(z_2)] - \lambda z_1(z_2)\right\}}{dz_1(z_2)} = 0 \quad (11)$$

Из выражения (11) получаем:

$$\frac{az_2V_0}{\Delta z} \exp[az_1(z_2)] - \lambda = 0 \quad (12)$$

Из выражения (12) находим

$$\exp[az_1(z_2)] = \frac{\lambda \Delta z}{az_2V_0} \quad (13)$$

Логарифмируя (13) получим

$$z_1(z_2) = \frac{1}{a} \ln \frac{\lambda \Delta z}{az_2V_0} \quad (14)$$

Таким образом функция (14) является решением оптимизационной задачи (10). При решении (14) функционал F_0 достигает минимума, так как производная (12) по $z_1(z_2)$ всегда оказывается положительной величиной.

С учетом выражений (6) и (14) напишем

$$\exp[\beta EF(z_2)] = \frac{1}{a} \ln \frac{\lambda \Delta z}{az_2V_0} \quad (15)$$

Из выражения (15) получаем

$$EF(z_2) = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{1}{a} \ln \frac{\lambda \Delta z}{az_2V_0} \right] \quad (16)$$

Таким образом выражения (16) является окончательные видом взаимосвязи экономического показателя $EF(z_2)$ и степенью экологичности автомобилей z_2 .

Результаты и обсуждения

Таким образом, между GDP на душу населения EF и средней величиной эмиссии CO_2 в атмосферу автомобилями имеется двойная логарифмическая обратная связь в виде (16). При такой связи суммарная эмиссия CO_2 автомобилями в атмосферу, согласно вышеизложенной методике должна иметь минимум. Отметим, что наличие такого минимума косвенно подтверждается существующими статистическими данными по Европейскому Союзу. Соответствующая кривая изменения суммарной эмиссии CO_2 по Европейскому Союзу показана на рис. 4.

Как видно из графика, представленного на рис. 4 четко прослеживается наличие минимума в интервале 2012-2014 г. Дальнейший рост суммарной эмиссии может быть объяснен ухудшением экологичности автомобилей в течение 2014-2018 г. г., что отчётливо видно на рис. 2.

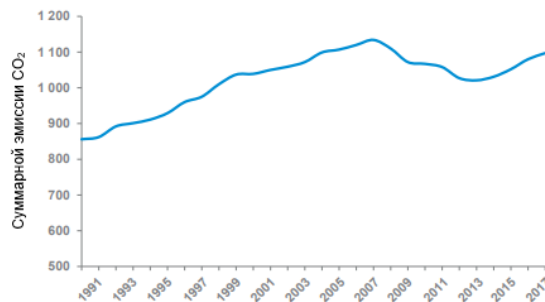


Рис. 4. Кривая изменения суммарной эмиссии CO_2 по Европейскому Союзу по годам

Составлено авторами

Выводы

1. Предложен метод для исследования временной зависимости суммарной эмиссии CO₂ в атмосферу с учетом таких факторов как GDP на душу населения и степень экологичности автомобилей.

2. На основе предложенного метода разработана соответствующая методика. Применение разработанной методики к данным по Европейскому Союзу показало практическую полезность и верность основных положений предложенного метода.

Литература

1. Милякин С. Р. Снижение выбросов CO₂ в городах: электромобили или общественный транспорт// ЭКО. 2022. № 12.
2. Eder L., Filimonova I., Nemo V., Komarova A., Sablin K. Ecological aspects of economical development: issues of forecast greenhouse gas emissions in road transport in Europe and regions of Russia// Web of conferences. 80. 2019.
3. Беров Т., Стойков Д., Стаменов В., Стоянов И. Подход к определению экологической эффективности интермодальных грузовых перевозок// Scientific proceedings XIX international scientific technical conference “trans & MOTAUTO 11”. Vol. 3. Pp. 136-138. 2011.
4. Wu T., Zhao H., Ou X. Vehicle ownership analysis based on GDP per Capita in China: 1963-2050// Sustainability. 2014. Pp. 4877-4899.
5. Huo, H.; Wang, M. Modeling future vehicle sales and stock in China. *Energ. Pol.* 2012, 43, 17–29.
6. Dargay, J.M. The effect of income on car ownership: Evidence of asymmetry. *Trans. Res. A Policy Pract.* 2001, 35, 807–821.
7. Dyckman, T.R. An aggregate-demand model for automobiles. *J. Bus.* 1965, 38, 252–266.
8. Romilly, P.; Song, H.; Liu, X. Modeling and forecasting car ownership in Britain: A co-integration and general to specific approach. *J. Trans. Econ. Pol.* 1998, 32, 165–185.
9. Meyer, I.; Kaniovski, S.; Scheffran, J. Scenarios for regional passenger car fleets and their CO₂ emissions. *Energ. Pol.* 2012, 41, 66–74.
10. Dargay, J.M.; Gatley, D. Income’s effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960–2015. *Trans. Res. A Pol. Pract.* 1999, 33, 101–138.
11. Zheng, B.; Huo, H.; Zhang, Q.; Yao, Z.L.; Wang, X.T.; Yang, X.F.; Liu, H.; He, K.B. A new vehicle emission inventory for China with high spatial and temporal resolution. *Atmos. Chem. Phys. Disc.* 2013, 13, 32005–32052.
12. Dargay, J.; Gatley, D.; Sommer, M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960–2030. *Energ. J.* 2007, 28, 143–170.
13. France strategie. How can we now reduce CO₂ emissions from cars?
14. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационные исчисления. М. Наука. 1974. Стр. 432.

Mammadov S. E.
oglu,
Ibragimova A. E.
gizi

Forecasting the total CO₂ emissions by vehicles of countries and regions depending on the GDP indicator

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: asadzade@rambler.ru

Abstract. This article is devoted to the study of the relationship between the GDP of countries and regions and the total amount of CO₂ emitted into the atmosphere by transport. There are various methods for accounting for total emissions of methane, CO, CO₂, SO₂, and aerosols that take into account factors such as the distances traveled by cars, the emission factor of each pollutant, the vehicle's operating mode, etc.. In well-known studies, the correlation between GDP and the number of cars per 1000 inhabitants was analyzed as a Compartz function. It was noted that there is a double logarithmic inverse relationship between GDP per capita in countries and regions and the average amount of CO₂ emissions from cars, as well as the amount of CO₂ emissions per car decreased linearly over a long period, and The number of cars for every 1,000 inhabitants has a saturation limit that does not depend on a further increase in GDP. According to the study, the total CO₂ emissions of cars into the atmosphere, taking into account the above factors, should be at least for years, which is confirmed by existing statistical data.

Ключевые слова: emissions, Compersts function, atmosphere, GDP, air pollution.

References

1. Milyakin S. R. Snizhenie vybrosov SO₂ v gorodah: elektromobili ili obshchestvennyj transport// EKO. 2022. № 12. (in Russian)
2. Eder L., Filimonova I., Nemov V., Komarova A., Sablin K. Ecological aspects of economical development: issues of forecast greenhouse gas emissions in road transport in Europe and regions of Russia// Web of conferences. 80. 2019.
3. Berov T., Stojkov D., Stamenov V., Stoyanov I. Podhod k opredeleniyu ekologicheskoy effektivnosti intermodal'nyh gruzovyh perezovok// Scientific proceedings XIX international scientific technical conference "trans & MOTAUTO 11". Vol. 3. Pp. 136-138. 2011. (in Russian)
4. Wu T., Zhao H., Ou X. Vehicle ownership analysis based on GDP her Capita in China: 1963-2050// Sustainability. 2014. Pp. 4877-4899.
5. Huo, H.; Wang, M. Modeling future vehicle sales and stock in China. Energ. Pol. 2012, 43, 17–29.
6. Dargay, J.M. The effect of income on car ownership: Evidence of asymmetry. Trans. Res. A Policy Pract. 2001, 35, 807–821.
7. Dyckman, T.R. An aggregate-demand model for automobiles. J. Bus. 1965, 38, 252–266.
8. Romilly, P.; Song, H.; Liu, X. Modeling and forecasting car ownership in Britain: A co-integration and general to specific approach. J. Trans. Econ. Pol. 1998, 32, 165–185.
9. Meyer, I.; Kaniovski, S.; Scheffran, J. Scenarios for regional passenger car fleets and their CO₂ emissions. Energ. Pol. 2012, 41, 66–74.

10. Dargay, J.M.; Gately, D. Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960–2015. *Trans. Res. A Pol. Pract.* 1999, 33, 101–138.
11. Zheng, B.; Huo, H.; Zhang, Q.; Yao, Z.L.; Wang, X.T.; Yang, X.F.; Liu, H.; He, K.B. A new vehicle emission inventory for China with high spatial and temporal resolution. *Atmos. Chem. Phys. Disc.* 2013, 13, 32005–32052.
12. Dargay, J.; Gately, D.; Sommer, M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960–2030. *Energ. J.* 2007, 28, 143–170.
13. France strategie. How can we now reduce CO₂ emissions from cars?
14. El'sgol'c L. E. *Differencial'nye uravneniya i variacionnye ischislenie*. M. Nauka. 1974. Str. 432. (in Russian)

Поступила в редакцию 29.08.2024 г.