ТРАНСПОРТ

УДК 656.13
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/33

Волков Д.В.
Приазовський державний технічний університет

ВПЛИВ ЗИМОВИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО РЕГІОНУ НА ОПІР РУХУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розглянуто зимові природно-кліматичні фактори Східноукраїнського регіону, їх вплив на опір руху автомобільного транспорту. Висвітлюються умови географічного середовища, аналізується їх дія на транспортні процеси: інтенсивність відводу тепла від агрегатів, зменшення сили тяги транспортних засобів, підвищення опору руху. Температурний режим Східноукраїнського регіону нестійкий. У зимовий період спостерігаються при різких коливаннях температури часті відлиги. Вологість повітря в Східноукраїнському регіоні в зимові місяці підвищена, що негативно впливає на потужність двигуна автотранспорту, на питому витрату бензину. Установлено, що різка зміна температури повітря разом з вітром сприяють утворенню на дорожньому полотні шуги – суміші шматків льоду з водою, що впливає на коефіцієнт зчеплення, призводить до збільшення сили опору руху. Розглянуто фізико-механічні властивості шуги. Доведено, що сила шугового опору залежить від опорів руйнування й розсування шуги, інерційного та гідродинамічного опору. Схематично зображено сили, що діють на автомобіль при русі по шузі: аеродинамічна, інерції руху, тяжіння, тяги на колесах, опору ковзання, гідродинамічна. Виведено диференціальне рівняння руху автомобіля по шузі, згідно з яким аеродинамічна сила при русі по шузі зростає зі збільшенням швидкості руху, сила інерції змінюється відповідно до зміни прискорення, сила тяги перевищує сили зчеплення коліс з дорогою, сила опору ковзання пов'язана з перетворенням механічної енергії на внутрішню теплоту, а сила гідродинамічного опору спрямована протилежно швидкості руху автомобілю й залежить від числа Рейнольдса та числа Фруда. Виявлено, що опір руху в зимових умовах Східноукраїнського регіону зазнає подвійний опір: в'язкісний і гравітаційний, зумовлений деформацією шуги. Фазові зміни шуги – режеляційна фірнізація (танення й замерзання), спричинені природно-кліматичними умовами. Отже, опір руху в зимових умовах призводить до зростання гістерезисних втрат, до збільшення витрат палива, що підвищує екологічне забруднення Східноукраїнського регіону.

Ключові слова: *природно-кліматичні фактори, Східноукраїнський регіон, автомобільний транспорт, експлуатація, опір руху, сила опору, шуга, сніг, температура.*

Постановка проблеми. Зимові природно-кліматичні фактори є одними із основних чинників, що впливають на дорожнє полотно, експлуатаційні характеристики роботи транспорту. Східноукраїнський регіон вирізняється різкими змінами температур, частими відлигами, що сприяє утворенню шуги – суміші крижаних кристалів і шматків льоду з водою у вигляді кашоподібної маси [1, с. 212], і створює особливості опору руху автомобільного транспорту.

При цих обставинах висувається необхідність дослідження опору руху автомобільного транспорту в умовах впливу зимових кліматичних факторів Східноукраїнського регіону. Опір руху в шузі призводить до зростання гістерезисних утрат, а також до збільшення щільності палива, що, у свою чергу, при змінних режимах роботи двигуна (під час пуску й роботи в холостому режимі) призводить до перевитрат палива, збільшує шкідливий вплив автомобіля на навколишнє середовище. Ураховуючи високий рівень екологічного забруднення Східноукраїнського регіону, ця проблема стоїть особливо гостро.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідницької роботи вивчені теоретичні праці вітчизняних і зарубіжних учених. Питанням впливу атмосферно-кліматичних факторів на показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля, на процеси якості його роботи приділяли увагу Ю.А. Хегай [2] та Н.С. Захаров [3].

Дослідження впливу низьких температур навколишнього повітря на експлуатаційну, паливну економічність автомобіля, на роботу агрегатів, механізмів і систем автомобілів проводили Д.А. Захаров [4], В.А. Кунцман, А.Н. Бабакін, А.Ю. Сергєєв [5].

Дослідження для вирішення завдань, пов'язаних з проблемою опору руху в зимовий період, здійснювали Н.С. Вольська [6], Л.В. Барахтанова, І.О. Донато, А.А. Анікіна [7] та інші. У роботі В.С. Макарова [8] наведена методика розрахунку й оцінки прохідності машин при криволінійному русі по снігу з урахуванням режимів руху. Питання дослідження вибору конструкційних параметрів рушіїв, що забезпечують ефективність руху колісних машин по снігу, розглядали С.Є. Манянін [9] і Д.В. Зезюлін [10]. У роботі Я.Е. Богайчука [11] порушено питання підвищення експлуатаційних паливно-економічних та екологічних показників автомобілів у зимовий період.

Дослідження льодового опору (модельні випробування в льоду), пов'язані з морським транспортом, у 2009 році проводили Ендрю Палмер і Джон Демпсі (університет Кларксона, штат Нью-Йорк) [12]. Нові підходи до експериментальних досліджень льодового опору судів на моделях запровадили Д.А. Семенов, В.А. Зуєв, Є.М. Грамузов та інші. На дорогах льодовий опір майже не розглядався. В.О. Ковригін [13] займався вивченням підвищення безпеки автомобілів в умовах експлуатації на основі аналізу характеристик зчеплення шин із льодом.

У літературі відсутні будь-які дані з досліджень опору руху автомобіля в умовах наявності суміші – води, снігу й льоду (шуги). Це питання є найменш вивченим, тому становить інтерес і є актуальним.

Постановка завдання. Мета статті – провести аналіз впливу зимових кліматичних факторів Східноукраїнського регіону на опір руху автомобіля; визначити сили, що діють при русі автомобіля по шузі; установити диференціальне рівняння руху автомобіля по шузі.

Виклад основного матеріалу. Природно-кліматичні фактори – це умови географічного середовища: клімат, температура, вітровий режим, опади тощо.

У зимових умовах природно-кліматичні фактори є одними з основних чинників, що впливають на дорожнє полотно, експлуатаційні характеристики роботи транспорту, його надійність, а також екологічні показники (рис. 1).

Клімат Східноукраїнського регіону помірно континентальний. Характерна особливість зимових умов – часті відлиги, що призводить при перепадах температур до виникнення ожеледиці та шуги.

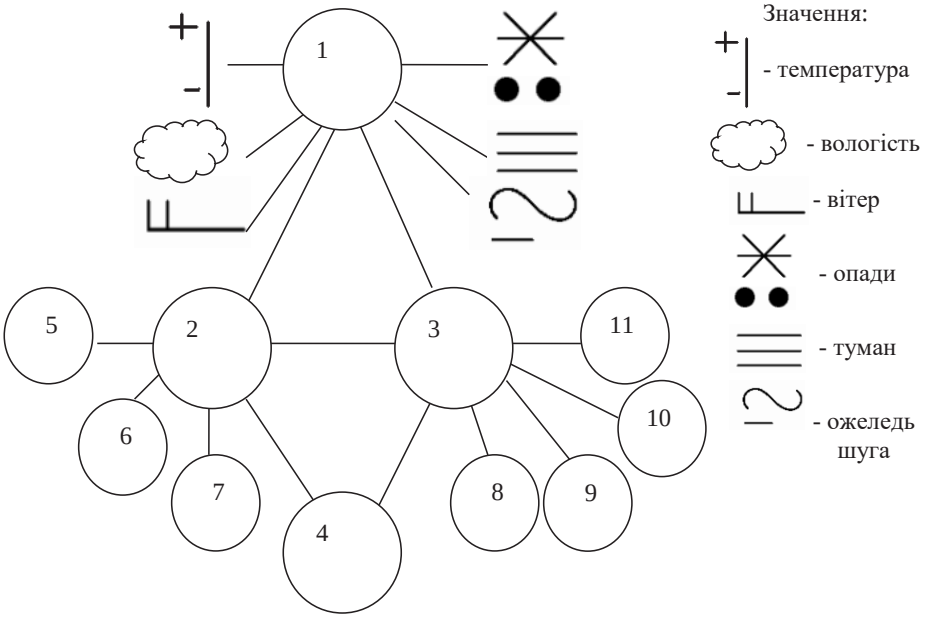

Рис. 1. Вплив природних факторів на роботу автотранспорту в зимових умовах: 1 – природно-кліматичні фактори; 2–дорожні фактори; 3 – експлуатаційні фактори; 4 –екологічні фактори; 5 – стан полотна; 6 –зчеплення; 7 – видимість: 8 – швидкість; 9 – опір руху; 10 – витрата палива; 11 – зношування деталей

Безпосередній вплив на формування клімату Східноукраїнського регіону надають Сибірський антициклон, Арктичний і Азорські максимуми.

Температурний режим Східноукраїнського регіону нестійкий. У зимовий період спостерігаються різкі коливання температури. З приходом холодних повітряних мас спостерігається різке зниження температури до -15 – - 25°С. Теплі повітряні маси приносять підвищення температури до 10–13°С, які супроводжуються відлигами. Середні зимові температури становлять - 6 – - 8°С [14].

Нестійка температура повітря впливає на збільшення сили опору руху і зменшення сили тяги транспортних засобів.

Вітровий режим Східноукраїнського регіону пов'язаний із проходженням смуги високого атмосферного тиску, так званої осі Воєйкова, яка проходить уздовж лінії Луганськ-Дніпро, між Добропільським і Бахмутським районами Донецької області. На північ від цієї смуги переважають відносно теплі вітри, на сході – холодні північно-східні та східні вітри, їх швидкість становить до 5–6 м/с.

Режим вітру Донецької області формується під впливом рельєфу Донецької височини, позначається також вплив Азовського моря й впливає на інтенсивність відводу тепла від агрегатів транспорту, що призводить до зниження їх температурного режиму під час руху.

Зимова кількість опадів в Східній Україні становить від 60 мм до 90 мм [14] переважно у вигляді снігу й дощу, що ускладнює роботу автомобільного транспорту і збільшує ризик аварійної ситуації.

Вологість повітря в Східноукраїнському регіоні в зимові місяці підвищена й коливається в межах 85–97% [14]. Підвищена вологість негативно впливає на працездатність транспорту: потужність двигуна автотранспорту знижується на 2% на кожні 10 г вмісту води в 1 кг повітря, а питома витрата бензину збільшується на 2,7% [15, с. 64].

Під впливом різкої зміни температур і вітру змінюється фазовий стан опадів, які перетворюються на суміш крижаних кристалів і шматків льоду з водою (шуги) на дорожньому полотні, що впливає на коефіцієнт зчеплення, тобто на критерій слизькості [15, с. 79]:

$$K_з = K_x - K_ш(V - V_x), \qquad (1)$$

де: $K_з$ – коефіцієнт зчеплення; K_x – коефіцієнт зчеплення при швидкості x; $K_ш$ – коефіцієнт зміни зчіпних якостей залежно від стану дороги (шуги); V – швидкість.

Зі збільшенням швидкості руху значення коефіцієнта зчеплення K_c знижується.

До іншого фактору, що впливає на коефіцієнт зчеплення в зимовий період, можна віднести щільність і товщину шуги (рис. 2). Орієнтовно щільність шуги P_c варіюється від 0,06 до 0,20 г/см^3 [1, с. 212], при цьому коефіцієнт зчеплення зменшується до 0,2.

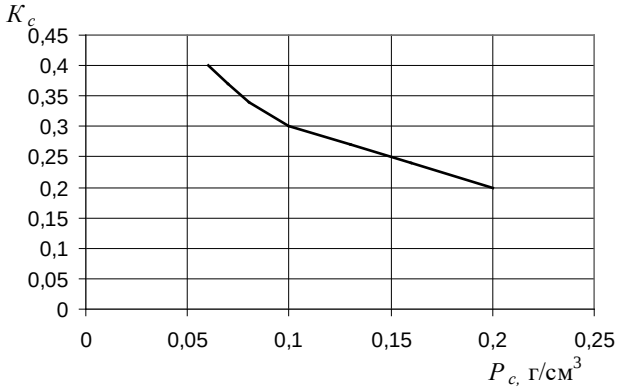

Рис. 2. Залежність коефіцієнта зчеплення K_c від щільності шуги P_c

Опір при русі по шузі залежить від її фізико-механічних властивостей, товщини, від розмірів, конфігурації та згуртованості крижин. До основних фізико-механічних характеристик шуги відносять модуль пружності, межу міцності на вигин, динамічний коефіцієнт тертя шуги об машину й силу тертя.

Модуль пружності приблизно дорівнює $E \approx$ (35-62)*104 Н/см^2 [16, с. 235], межа міцності на вигин *бр*, а також динамічний коефіцієнт тертя шуги об машину можна прийняти f_T = 0,08–0,15.

При русі в шузі машина вдаряється об неї, іноді вповзає, частинки шуги облягають нижню частину корпусу автомобіля, сила шугового опору $R_ш$ становить:

$$R_ш = R_{ш1} + R_{ш2} + R_{ш3} + R_g, \qquad (2)$$

де $R_{ш1}$ – опір від руйнування шуги; $R_{ш2}$ – опір від розсування зруйнованої шуги; $R_{ш3}$ – інерційний опір; R_g – гідродинамічний опір.

Кожен із цих складників, у свою чергу, ділиться на дві частини: міцність маси, кінематика руху частинок шуги та механічне тертя шуги.

При цьому величина гідродинамічного опору в шузі розподіляється на два складники: в'язкісний складник, що залежить від числа Рейнольдса, і гравітаційний складник, який залежить від числа Фруда [16, с. 112], і має вигляд:

$$R_g = Re_ш + Fr_ш = \frac{VL}{h_ш} + \frac{V^2}{gL} \qquad (3)$$

де V – швидкість автомобіля, м/с; L – довжина автомобіля, м; $h_ш$ –кінематична в'язкість шуги; g – відносне прискорення, що характеризує дію зовнішньої сили, м/с^2.

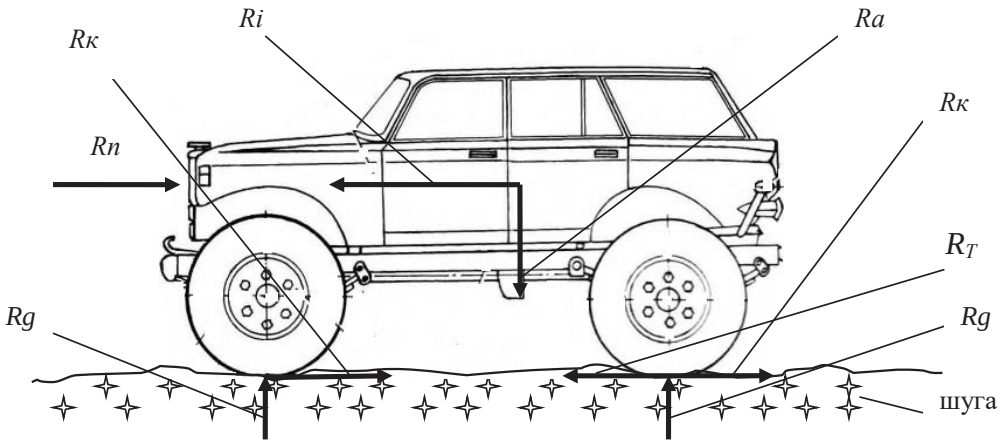

Рис. 3. Схема сил, що діють при русі автомобіля по шузі: *Rn* – сила опору повітря (аеродинамічна); *Ri* – сила інерції руху; *Ra* – сила тяжіння (вага автомобіля); *RT* – сила тяги на колесах; *Rк* – сила опору ковзання; *Rg* – сила гідродинамічного опору

Сили, що діють на автомобіль при русі по шузі, наведені на рис. 3.

Сила опору повітря R_n (аеродинамічна сила) при русі по шузі пропорційна квадрату швидкості й зростає зі збільшенням швидкості руху. Сила інерції R_i змінюється відповідно до зміни прискорення [9, с. 105]. Сила тяжіння R_a тим більша, чим більший гідродинамічний опір шуги. Сила тяги R_T при русі автомобіля по суміші шматків льоду з водою перевищує сили зчеплення коліс з дорогою, що сприяє пробуксовці провідних коліс. Сила опору ковзання $R_к$ спрямована вздовж поверхні зіткнення коліс з шугою й пов'язана з перетворенням механічної енергії у внутрішню теплоту. При цьому сила гідродинамічного опору R_g спрямована протилежно швидкості руху автомобіля.

Диференціальне рівняння руху автомобіля по шузі $R_{Аш}$ має вигляд:

$$R_{Аш}\frac{dv}{dt} = \sum_{j=1}^{N} R_j = R_n + R_i + R_a + R_T + R_k + R_g = \\ = L_R\frac{pV^2}{2}S_M + \frac{Gj}{g} + mg + \frac{O_{мк}}{r_r} + K_{тр}C_o + \frac{VL}{h_ш} + \frac{V^2}{gL}, \quad (4)$$

де L_R – лобовий опір автомобіля; p – щільність повітря, кг/м^3; V – швидкість, м/с; S_M – міделевий переріз, м^2; G – вага автомобіля, Н; j – відносне прискорення м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с^2. m – маса автомобіля, кг; $О_{мк}$ – обертаючий момент колеса, Нм; r_k – радіус колеса, м; $K_{тр}$ – коефіцієнт тертя ковзання, Н; C_o – сила реакції дороги, Н.

Таким чином, автомобільний транспорт при русі в зимових умовах Східноукраїнського регіону зазнає подвійного опору (в'язкісний + гравітаційний), зумовлений деформацією шуги. Фазові зміни шуги – режеляційна фірнізація (танення й замерзання), спричинені природно-кліматичними умовами та пов'язані з коливаннями температур, вітровим режимом і вологістю.

Висновки. У статті досліджено опір руху автомобільного транспорту в шузі, утвореної під впливом зимових кліматичних факторів Східноукраїнського регіону. Визначено сили, що діють при русі автомобіля по шузі. Виведено формулу сили шугового опору, установлено диференціальне рівняння руху автомобіля по шузі. Отримані результати є певним внеском у вивчення теоретичних питань опору руху колісних транспортних засобів за наявності шуги. Порушена проблема потребує подальшого дослідження.

Список літератури:

1. Справочник дорожных терминов / за ред. проф. В.В. Ушакова. Москва : Экономико-консультационный ЦЕНТР «ЭКОН», 2005. 303 с.

2. Хегай Ю.А. Влияние атмосферно-климатических факторов на показатели тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля. *Актуальные вопросы современной науки*. 2009. Вып. № 6-1. С. 82–88.

3. Захаров Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : дисс. … докт. техн. наук : 05.22.10. Тюмень, 2000. 523 с.

4. Захаров Д.А. Влияние зимних условий эксплуатации автомобилей на топливную экономичность двигателей : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Тюмень, 2000. 19 с.

5. Кунцман В.А., Бабакин А.Н., Сергеев А.Ю. Влияние климатических условий на работоспособность машин. *Евразийский союз ученых.* 2018. Вып. 5 (50). С. 65–68.

6. Вольская Н.С. Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации : дисс. … докт. техн. наук : 05.05.03. Москва, 2008. 370 с.

7. Барахтанов Л.В., Аникин А.А., Донато И.О. Физико-механические свойства снега как полотна пути для движения машин. *Наука и образование :* электронное научно-техническое издание. 2010. № 10. С. 16–19. URL: http://technomag.edu.ru/doc/160649.html (дата звернення: 15.04.2021).

8. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Нижний Новгород, 2009. 21 с.

9. Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных и гусеничных машин по снегу путем научно обоснованного выбора конструктивных параметров движителей : дисс. … докт. техн. наук : 05.05.03. Нижний Новгород, 2019. 412 с.

10. Зезюлин Д.В. Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Нижний Новгород, 2013. 17 с.

11. Богайчук Я.Э. Влияние низкотемпературных условий эксплуатации на экологичность автомобилей : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Тюмень, 2004. 172 с.

12. Andrew Palmer, John Dempsey. MODEL TESTS IN ICE. *Proceedings of the 20th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Luleå, Sweden.* 2009. June 9–12. P. 322–332.

13. Ковригин В.А. Повышение безопасности автомобилей в условиях эксплуатации на основе анализа характеристик сцепления их шин со льдом : дис. … канд. техн. наук : 05.22.10. Иркутск, 2014. 203 с.

14. Український гідрометеорологічний центр: Інформаційний сервер погоди. URL: https://meteo.gov.ua/ua/34712 (дата звернення: 15.09.2020).

15. Эксплуатация автомобильной техники в сложных условиях : руководство / И.В. Балабай, В.Н. Щербинин, В.Н. Чулков и др. Москва : Воениздат, 1984. 128 с.

16. Войткунский Я.Н. Сопротивление движению судов. Ленинград : Судостроение, 1988. 287 с.

Volkov D.V. THE INFLUENCE OF WINTER CLIMATIC FACTORS OF THE EASTERN UKRAINIAN REGION ON THE RESISTANCE OF MOTION OF AUTOMOTIVE TRANSPORT

The article discusses the winter natural and climatic factors of the East Ukrainian region, their influence on the resistance to the movement of road transport. The conditions of the geographical environment are highlighted, their impact on transport processes is analyzed: the intensity of heat removal from the units, a decrease in the traction force of vehicles, an increase in resistance to movement. The temperature regime of the East Ukrainian region is unstable. In winter, frequent thaws are observed with sharp temperature fluctuations. Air humidity in the East Ukrainian region in the winter months is increased, which negatively affects the engine power of vehicles, the specific consumption of gasoline. It has been established that a sharp change in air temperature together with the wind contributes to the formation of frazil ice on the roadway – a mixture of pieces of ice with water, which affects the coefficient of adhesion and leads to an increase in the force of resistance to movement. The physical and mechanical properties of the frazil ice are considered. It is proved that the force of frazil ice resistance depends on the resistance of destruction and expansion of the frazil ice, inertial resistance and hydrodynamic resistance. A schematic representation of the forces acting on the car when moving along the frazil ice. The differential equation of the car motion along the frazil ice is derived. According to which the aerodynamic force during moving along the frazil ice increases with an increase in the speed of movement, the inertial force changes in accordance with the change in acceleration, the traction force exceeds the adhesion of the wheels to the road, the sliding resistance force is associated with the transformation of mechanical energy into internal heat, and the hydrodynamic resistance force is directed in the opposite direction vehicle speed and depends on the Reynolds number and on the Froude number. It was revealed that resistance to movement in winter conditions in frazil ice leads to an increase in hysteresis losses, as well as to an increase in fuel losses, and increases environmental pollution of the East Ukrainian region.

Key words: *climatic factors, East Ukrainian region, road transport, operation, resistance to movement, resistance force, sludge, snow, temperature.*