


С. В. Немий

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5131-8842> – С. В. Немий

 sniemyj@ukr.net

ЗАХИСТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛІВ ВІД ДІЇ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Анотація. З метою визначення ефективності захисту ізоляції електричних проводів від впливу дії підвищеної температури у моторному відсіку автобусів проведені експериментальні дослідження. В конструкції вказаного автобуса проводи електричної мережі поміщені у захисні гофровані трубки. Вимірювання температури проводилися термоелектричним термометром типу ТТЦ-1. У вимірювальному комплексі застосовувалися термосенсори типу хромель-копель. Вказані термосенсори встановлювалися на поверхні проводів і захисної гофрованої трубки в одному і тому ж місці траси прокладання. Випробування проводилися на міжміському автобусі середнього класу.

Термосенсори були встановлені на поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки. Генератор на автобусі розміщений у верхній частині двигуна над розвалом його блока. За отриманими значеннями температур поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки побудовані графіки зміни температури на поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки в одному і тому ж місці траси. Вимірювання температури у моторному відсіку проводилися в зоні прокладання пучка проводів збудження генератора між реле-регулятором напруги і розподільчим щитком електрообладнання моторного відсіку і її значення були в межах 60-62 °С. Температура зовнішнього повітря становила 26-28 °С.

В результаті експерименту встановлено, що температура поверхні проводів, по яких протікає електричний струм є меншою від температури поверхні захисної трубки на 6-8 °С.

Причиною цього є те, що моторний відсік автобуса є закритим об'ємом, у якому функціонує активне джерело радіаційного нагріву (випромінювання) – двигун. У замкнутому об'ємі моторного відсіку, променеве тепло від нагрітих частин двигуна, потрапляючи на поверхню захисної трубки поглинається нею, поступово нагріваючи її.

Температура є важливим фактором, що впливає на природне старіння ізоляції проводів. Тому при ремонтах автомобілів і автобусів є неприпустимо встановлювати одиночні проводи і їх пучки без захисних трубок.

При зниженні електричної стійкості ізоляції, яка насамперед полягає у затвердінні і появі у ній мікротріщин, виникають часткові електричні розряди на «масу», які практично неможливо виявити у процесі руху і ремонту автомобіля. За наявності, поряд із трасою проводів із вказаним станом ізоляції, підтікання із трубопроводів паливоподачі і системи мащення, при часткових електричних розрядах можливе загоряння суміші палива чи оливи із пилюкою на поверхні нагрітих частин двигуна чи моторного відсіку і без короткого замикання. У цьому аспекті особливо небезпечними є автомобілі із терміном експлуатації понад десять років, що становлять у цьому відношенні групу ризику.

Висновки.

1. Електромережа, розміщена у моторному відсіку автомобілів зазнає підвищених температурних навантажень, джерелом яких є температурний стан двигунів. Активний тепловий вплив двигуна на температурний режим моторного відсіку автомобіля, як складову містить теплоту радіаційного випромінювання;

2. Особливо значних температурних навантажень зазнають електричні проводи у моторному відсіку автобусів із заднім розташуванням силового агрегату;

3. Досліджено вплив на температурне навантаження проводів захисних пластикових оболонок (гофрованих трубок), які ефективно захищають проводи від впливу радіаційного випромінювання зі сторони двигуна;

4. При ремонтах автомобілів і автобусів не можна встановлювати проводи електромережі без захисних трубок.

Ключові слова: електрична мережа, моторний відсік, температурне навантаження, тепловий стан двигуна, теплота радіаційного випромінювання, захисні пластикові трубки, ізоляція проводу.

PROTECTION OF THE ELECTRICAL NETWORK OF VEHICLES FROM THE ACTION OF THE INCREASED TEMPERATURE

Abstract. To determine the effectiveness of protection of electrical wires from the effects of elevated temperature in the engine compartment of buses, experimental studies were conducted. In the design of the specified bus wires of an electric network are placed in protective corrugated tubes. Temperature measurements were performed with a thermoelectric thermometer type TTC-1. Thermosensors of the chromel-bath type were used in the measuring complex. These thermal sensors were installed on the surface of the wires and the protective corrugated tube in the same place as the laying route. The tests were conducted on an intercity bus.

Thermosensors were installed on the surface of the generator excitation wire bundle and the surface of the protective corrugated tube. The generator on the bus is located at the top of the engine above the collapse of its unit. Based on the obtained values of the surface temperature of the generator excitation wires and the surface of the protective corrugated tube, graphs of temperature change on the surface of the generator excitation wire bundle and the surface of the protective corrugated tube in the same place are constructed. Temperature measurements in the engine compartment were performed in the area of laying the beam of the excitation wires of the generator between the voltage regulator relay and the switchboard of the electrical equipment of the engine compartment and were in the range of 60-62 °C. The outside air temperature was 26-28 °C.

Results As a result of the experiment, it was found that the surface temperature of the wires through which the electric current flows is lower than the surface temperature of the protective tube, by 6-8 °C.

The reason for this is that the engine compartment of the bus is a closed volume in which the active source of radiant heat (radiation) of the engine operates. In the closed volume of the engine compartment, the radiant heat from the heated parts of the engine, falling on the surface of the protective tube is absorbed by it, gradually heating it.

Temperature is an important factor influencing the natural ageing of wire insulation. Therefore, when repairing cars and buses, it is unacceptable to install single wires and their bundles without protective tubes.

When reducing the electrical stability of the insulation, which primarily consists in curing and the appearance of microcracks in it, there are partial electric discharges on the "mass", which is almost impossible to detect during the movement and repair of the car. If there is, along the route of wires with the specified state of insulation, leakage from the fuel supply pipes and lubrication system, partial electric discharges may ignite a mixture of fuel or oil with dust on the surface of heated engine parts or engine compartment and without short circuit. In this respect, cars with a service life of more than ten years are particularly dangerous and pose a risk group in this respect.

Conclusions.

1. The electrical network located in the engine compartment of cars is subject to high-temperature loads, the source of which is the temperature of the engines. Active thermal influence of the engine on the temperature of the engine compartment of the car, as a component contains the heat of radiation;
2. Electrical wires in the engine compartment of buses with the rear location of the power unit are subjected to particularly significant temperature loads;
3. The effect on the temperature load of the wires of protective plastic shells (corrugated tubes), which effectively protect the wires from the effects of radiation from the engine;
4. When repairing cars and buses, it is not possible to install electrical wires without protective tubes.

Keywords. Electrical network, engine compartment, temperature load, thermal condition of the engine, the heat of radiation, protective plastic tubes, wire insulation.

Вступ. Причиною аварійних режимів і відмов проводів електричної мережі автомобілів у експлуатації, крім механічних пошкоджень, які виникають часто внаслідок неякісного виконання ремонтних робіт на автомобілі чи впливу вологи і агресивного середовища найчастіше є старіння ізоляції і, як наслідок, зниження її діелектричної міцності. При цьому старіння різко прискорюється, якщо проводи нагріваються, наприклад, від теплового виділення двигуна.

У якості ізоляції автомобільних проводів використовують полівінілхлоридний пластикат, який є оливо- і бензостійким та не розповсюджує горіння (проводи марок ПВА). Проводи марок ПВА використовуються при температурі

навколишнього середовища від – 40 до + 105 °C [2]. При нагріванні ізоляції до 150 °C відбувається її руйнування. Діелектрична стійкість ізоляції проводу визначається її тепловим зношуванням Z , яке оцінюється емпіричною залежністю [2]

$$Z = cte^{\gamma t}, \quad (1)$$

де c і γ – величини, постійні для цього типу ізоляції; t – час дії температури; e – основа натурального логарифму; t – температура.

Згідно з проведеними раніше дослідженнями [3], оптимальний діаметр циліндричних оболонки теплової ізоляції становить приблизно 20 мм. При меншому діаметрі, що відповідає діаметру ізоляції проводів ПВА, електрична ізоляція втрачає свою

роль як теплова і при збільшенні товщини оболонки ізоляції теплопередача від жили проводу збільшується. Отже, розрахунки теплових навантажень проводів необхідно вести, виходячи із зовнішнього діаметра проводу d_3 (зовнішній діаметр по ізоляції).

У роботі [3] наведено формулу для розрахунку температури поверхні проводу T_{np} :

$$T_{np} = \frac{I^2 \rho_t}{\pi S_{np} d_3 \alpha} + T_{cp}, \quad (2)$$

де d_3 – зовнішній діаметр проводу по ізоляції, мм; I – величина струму, що протікає по проводу, А; ρ_t – питомий опір матеріалу проводу у залежності від його температури Ом·мм²/м; S_{np} – площа перерізу жили проводу, мм²; α – коефіцієнт тепловіддачі ($\alpha = 13,5 - 20$ Вт/(м²·К) [3]; T_{cp} – температура навколишнього середовища.

Аналогічно, в роботі [4] наведено формулу для визначення температури на поверхні провідника:

$$T_{np} = \frac{\theta q_v d_3^2}{4 \lambda_2} + T_{cp}, \quad (3)$$

де θ – узагальнений вираз температури у безрозмірному вигляді [4]; q_v – питома потужність тепловиділення; λ_2 – теплопровідність матеріалу ізоляції.

$$q_v = \rho_t \left(\frac{I}{S_{np}} \right)^2.$$

Як бачимо в обох наведених формулах (2 і 3), складовою, яка формує величину температури поверхні проводу T_{np} , є температура зовнішнього середовища T_{cp} . Таким чином можемо припускати, що електрична мережа прокладена на кузові автомобіля, зазнає впливу температури навколишнього середовища, в якому експлуатується транспортний засіб. Відмінними, тобто більш жорсткими, є температурні умови експлуатації електромережі в моторних відсіках транспортних засобів, насамперед автобусів із заднім розташуванням силових агрегатів.

У даному аспекті використаємо результати спеціальних досліджень температурних режимів експлуатації електрообладнання автобусів [5]. Результати досліджень відображені на рис. 1 і табл. 1.

Якщо розглядати елементарний об'єм повітря V_i у будь-якій зоні моторного відсіку, то кількість тепла Q_i , яке сприймається повітрям в межах вказаного елементарного об'єму буде визначатися залежністю [5]

$$Q_i = V_i \gamma c (t_n - t_3), \quad (4)$$

де γ і c – відповідно, питома вага і теплоємність повітря; t_n і t_3 – відповідно, температура повітря у розглядуваному елементарному об'ємі і температура навколишнього повітря (середовища, в якому експлуатується транспортний засіб).

Виходячи із рівняння (4), перевищення температури у розглядуваній зоні моторного відсіку над температурою зовнішнього повітря буде становити:

$$\Delta t = \frac{Q_i}{V_i \gamma c} = t_n - t_3. \quad (5)$$

У вказаній роботі [5] наведено результати досліджень температурних режимів експлуатації електрообладнання автобусів різних моделей і класів: середнього і великого міського та середнього міжміського.

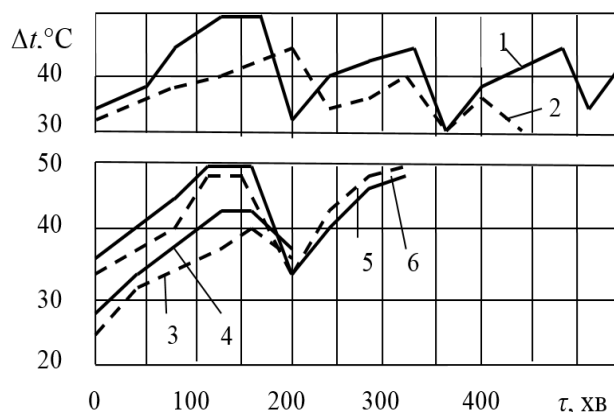


Рисунок 1 – Перевищення температури в моторному відсіку середнього міжміського автобуса в різних умовах руху [5]:

- 1 – у верхній частині двигуна над розвалом його блока на підйомах в гірській місцевості; 2 – там же на шосе;
- 3 – в зоні лівої головки блока двигуна на шосе;
- 4 – в зоні правої головки блока двигуна на шосе;
- 5 – в зоні лівої головки блока двигуна на підйомах в гірській місцевості; 6 – в зоні правої головки блоку двигуна на підйомах в гірській місцевості

Як бачимо у табл. 1, у моторних відсіках автобусів є зони, у яких при температурі навколишнього середовища, в якому експлуатується автобус 30 °С і більше, температура поверхні проводів, розміщених у цих зонах, може перевищувати допустимі нормативні значення (+80 °С). Це негативно впливає на теплове зношування ізоляції проводів, що ілюструється формулою (1).

З метою визначення ефективності захисту ізоляції електричних проводів від впливу дії підвищеної температури у моторному відсіку автобусів були проведені відповідні експериментальні дослідження.

Температурні режими експлуатації електрообладнання автобусів

Модель автобуса	Умови експлуатації	Зона мотовідсіку	Перевищення температури Δt , °С	
			середнє	максимальне
Середній приміський	На підйомі в гірській місцевості	З правої сторони двигуна	48,3	59
		В районі стартера	52,2	62
Великий міський	Місто	З правої сторони двигуна	42	55
		в районі стартера	40	56
Середній міжміський	Шосе	У верхній частині двигуна над розвалом його блока	36	42
		В районі стартера	49,3	62

Методи досліджень. Вимірювання температури проводилися термоелектричним термометром типу ТТЦ-1. Діапазон вимірювання температури 0-100 °С, дискретність відліку 0,1 °С. У вимірювальному комплексі застосовувалися термосенсори типу хромель-копель. Вказані термосенсори встановлювалися на поверхні проводів 1 і захисної гофрованої трубки 2 (рис. 2) в одному і тому ж місці траси прокладання.

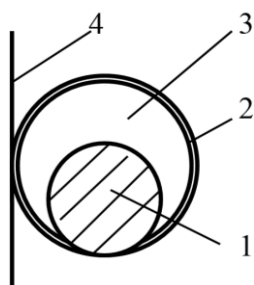


Рисунок 2 – Схема положення електричного проводу (пучка проводів) у захисній трубці:

- 1 – електричний провід (пучок проводів);
- 2 – захисна пластикова гофрована трубка;
- 3 – повітряний проміжок;
- 4 – утримуючий (опорний) елемент кузова

Випробування за участю автора проводилися на міжміському автобусі середнього класу. Температура зовнішнього повітря $t_s = 26$ °С.

Термосенсори були встановлені на поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки. Генератор на автобусі розміщений у верхній частині двигуна над розвалом його блока.

Результати досліджень. В конструкції вказаного автобуса проводи електричної мережі поміщені у захисні гофровані трубки (рис. 2). Параметри захисних гофрованих трубок із полівінілхлоридного пластику наведено у табл. 2.

За отриманими значеннями температур поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки побудовані графіки зміни температури на поверхні пучка проводів збудження генератора та поверхні захисної гофрованої трубки в одному і тому ж місці траси (рис.3). Вимірювання температури t починали проводити після її стабілізації на стоянці на обертах марного ходу двигуна та здійснювали, в подальшому, після відновлення руху впродовж часу τ .

Таблиця 2

Типаж захисних гофрованих трубок

Діаметр трубок, мм		Розмір гофра, мм		Товщина стінки трубки, мм
зовнішній	внутрішній	крок	ширина	
13,0	9,7	2,8	1,6	0,5
16,0	10,7	2,5	1,6	0,6
20,0	14,1	2,6	2,0	0,7
25,0	18,3	3,8	3,0	0,7
32,0	24,3	5,0	3,5	0,7

Крім вказаних вимірювань було зафіксовано температуру повітря у моторному відсіку в зоні прокладання пучка проводів збудження генератора між реле-регулятором напруги, розміщеним у розподільчому щитку електрообладнання моторного відсіку. Вказана температура була в межах 60-62 °С. Випробування проводилися при

температурі навколишнього середовища 26-28 °С.

Аналізуючи графіки, наведені на рис. 3, на перший погляд виникає парадоксальна ситуація – температура поверхні проводів, по яких протікає електричний струм, є нижчої від температури поверхні захисної трубки, на яку не впливає струмове навантаження проводу.

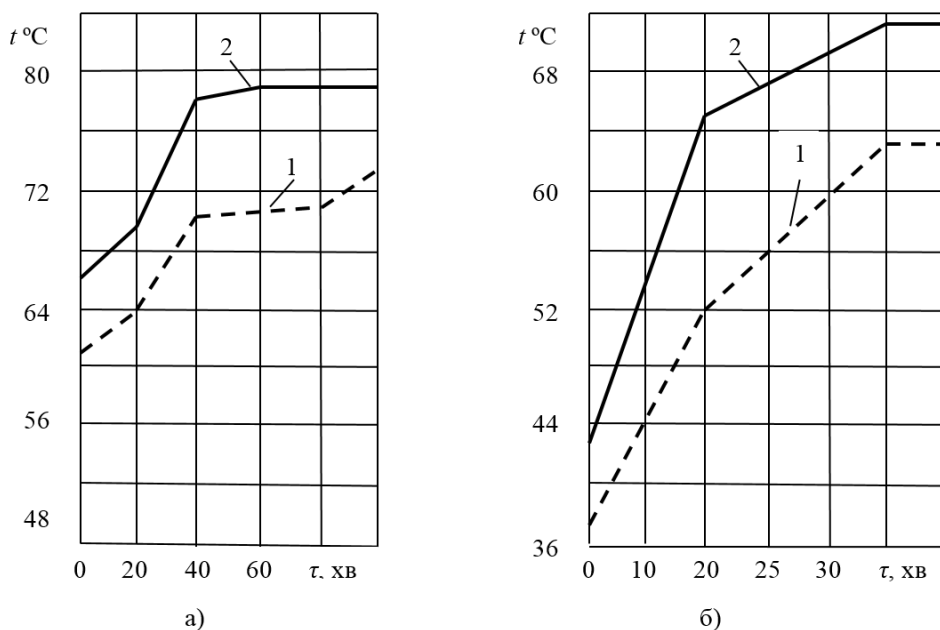


Рисунок 3 – Температура поверхні пучка проводів та захисної гофрованої трубки залежно від умов руху:
а) – місто; б) – шосе (швидкість руху 72 км/год);
1 – поверхня пучка проводів; 2 – зовнішня поверхня захисної трубки

Щоб пояснити цей факт, для початку розрахуємо орієнтовну температуру поверхні проводів за формулою (2), виходячи із таких розрахункових даних: зовнішній діаметр проводу по ізоляції $d_s = 3$ мм; величина струму збудження генератора, що протікає по проводу $I = 3,4$ А; питомий опір матеріалу проводу залежно від його температури $\rho_t = 0,02$ Ом·мм²/м; площа перерізу жили проводу $S_{np} = 1,5$ мм²; коефіцієнт тепловіддачі $\alpha = 18$ Вт/(м²К); температура повітря навколо проводів $T_{cp} = 60$ °С.

$$T_{np} = \frac{3,4^2 \cdot 0,02 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 18} + 60 = 60,91 \text{ °С}.$$

Як бачимо з розрахунку, завдяки струмовому навантаженню поверхня проводу, захищена гофрованою трубкою, нагрівається на незначну величину.

Щоб пояснити збільшення нагріву поверхні захисної гофрованої трубки, порівняно із поверхнею проводу, майже на 8 °С (рис. 3). Очевидно треба виходити із того, що, по-перше, пластикова гофрована трубка, як екрануюча оболонка захищає поверхню проводів від нагрівання зі сторони двигуна. По-друге, моторний відсік автобуса є закритим об'ємом, у якому функціонує активне джерело конвекційного і радіаційного нагрівання (випромінювання) – двигун. Особливо активними джерелами променевого випромінювання є елементи системи випуску – випускний колектор і трубопроводи від нього до глушника. Температура поверхні вказаних елементів формується температурою випускних газів, яка сягає 400-500 °С.

Повний розрахунок, у якому враховано, що обмін енергією випромінювання відбувається в умовах багатократного поглинання і відбивання отримати доволі важко. Через це у інженерній практиці для спрощення розрахунку променевого випромінювання реальні поверхні практично завжди вважаються дифузно-сірими поверхнями. Потік енергії випромінювання між двома поверхнями з температурою T_1 і T_2 у загальному можна відобразити формулою [6]

$$Q_6 = \frac{\sigma_0 (T_1^4 - T_2^4) F_1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ Вт}, \quad (6)$$

де σ_0 – постійна Стефана-Больцмана; T_1 і T_2 – відповідно температура поверхні, яка випромінює і поглинає випромінювання, К; F_1 – площа поверхні випромінювання, м²; ε_1 і ε_2 – відповідно, ступінь чорноти тіла, яке випромінює і поглинає теплоту.

Отже, у замкнутому об'ємі моторного відсіку променеве тепло від нагрітих частин двигуна безпосередньо та багаторазово відбивається від поверхонь моторного відсіку, потрапляє на поверхню захисної трубки і поглинається нею, поступово її нагріваючи. Це і відображено у результаті нашого експерименту.

Результати досліджень щодо впливу радіаційного випромінювання двигунів у закритому об'ємі моторного відсіку на даний час у фахових публікаціях не відображені. Як впливає з формули (1), температура є важливим фактором, що впливає на природне старіння ізоляції проводу. Тому при ремонтах автомобілів і автобусів є неприпустимо

встановлювати одиночні проводи і їх пучки без захисних трубок.

При зниженні електричної стійкості ізоляції, яка насамперед полягає у затвердінні і появі у ній мікротріщин, виникають часткові електричні розряди на «масу», які практично неможливо виявити у процесі руху і ремонту автомобіля [2]. За наявності, поряд із трасою проводів із вказаним станом ізоляції, підтікання із трубопроводів паливоподачі і системи мащення, при часткових електричних розрядах можливе загоряння шару бруду – суміші палива чи оливи із пилюкою на поверхні нагрітих частин двигуна чи моторного відсіку і без короткого замикання. У цьому аспекті особливо небезпечними є автомобілі із терміном експлуатації понад десять років, що становлять у цьому відношенні групу ризику.

Висновки.

1. Електромережа, розміщена у моторному відсіку автомобілів зазнає підвищених температурних навантажень, джерелом яких є температурний стан двигунів. Активний тепловий вплив двигуна на температурний режим моторного відсіку автомобіля, як складові містить теплоту конвекційного нагрівання і радіаційного випромінювання.

2. Особливо значних температурних навантажень зазнають електричні проводи у моторному відсіку автобусів із заднім розташуванням силового агрегату.

3. Досліджено вплив захисних пластикових оболонки (гофрованих трубок) на температурне навантаження проводів, які ефективно захищають проводи від впливу конвекційного і радіаційного випромінювання зі сторони двигуна.

4. При ремонтах автомобілів і автобусів не можна встановлювати проводи і пучки електромережі без захисних трубок.

Список літератури:

1. Немий С. В. Дослідження теплової стійкості електричних проводів автомобіля / Пожежна безпека: Збірник наукових праць. Львів: 2015. № 27. С. 104-109.

2. Немий С. В. Електрична мережа автомобіля як джерело пожежної небезпеки / С. В. Немий, Т. В. Ребот // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. Львів: 2015. № 26. С. 116 -121.

3. Немий С. В., Бритковський В. М. Ефективність захисту електричної мережі автомобілів / Вісник Національного університету "Львівська

політехніка". Серія : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2019. № 910. С. 107-113.

4. Семерак М. М., Гудим В. І., Коваль О. М. Дослідження режимів нагрівання провідників електричним струмом / Пожежна безпека: Зб. наук. праць № 8. 2006. С. 67-72.

5. Немий С.В. Формування ефективності автобусних генераторів на основі оптимізації показників та експлуатаційних режимів їх роботи : дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Немий Степан Володимирович ; Державний ун-т "Львівська політехніка". Львів, 1998. С.120-131.

6. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. London & New York: Addison-Wesley Longman Ltd, 1977. 236 p.

References:

1. Niemyi S. V. Doslidzhennia teplovoi stiikosti elektrychnykh provodiv avtomobilia / Pozhezhna bezpeka: Zbirnyk naukovykh prats Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti Lviv: 2015. № 27. P. 104-109. (in Ukr).

2. Niemyi S. V. Rebot T. V. Elektrychna merezha avtomobilia yak dzherelo pozheznoi nebezpeky / Pozhezhna bezpeka: Zbirnyk naukovykh prats Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti. Lviv: 2015. № 26. P. 116 – 121. (in Ukr).

3. Niemyi S. V., Brytkovskyi V. M. Efektyvnist zakhystu elektrychnoi merezhi avtomobiliv / (The effectiveness of the protection of the electrical network of cars) // Visnyk Natsionalnogo universytetu "Lvivska politekhnika". Seria: Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i prykladiv". 2019. № 910. С. 107113. (in Ukr).

4. Semerak M. M., Gudim V.I., Koval O.M. Doslidzhennia rezhymiv nahrivannia providnykiv elektrychnym strumom (Research of modes of heating of conductors by electric current) / Pozhezhna bezpeka : Zb. nauk. Prats. № 8, 2006. P. 67-72. (in Ukr).

5. Niemyi S.V. Formuvannia efektyvnosti avtobusnykh heneratoriv na osnovi optymizatsii pokaznykiv ta ekspluatatsiinykh rezhymiv yikh roboty (Formation of efficiency of bus generators on the basis of optimization of indicators and operational modes of their work) : dys... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 / Niemyi Stepan Volodymyrovych ; Derzhavnyi un-t "Lvivska politekhnika". Lviv, 1998. S.120-131. (in Ukr).

6. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. London & New York: Addison-Wesley Longman Ltd, 1977. 236 p.

© С. В. Немий, 2022.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 04.03.2022.

Прийнято до публікації 27.05.2022.