

В.В. Соколянський

*(Науково-дослідний інститут гірничорятувальної справи
пожежної безпеки і цивільного захисту «Респіратор», м. Донецьк, Україна)*

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КАБИНИ ПОЖЕЖНОГО АВТОМОБІЛЯ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

У статті вивчено можливі надходження і втрати теплоти в кабіні пожежного автомобіля, що перебуває під впливом теплових потоків відкритої пожежі. Запропоновані розрахункові і експериментальні методи визначення величин складових теплового балансу кабіни. Проведено зіставлення їх значень. Із загального рівняння теплового балансу кабіни вибрані складові, які можуть бути початковими даними для розробки математичної моделі теплообміну кабіни автомобіля з довкіллям

Ключові слова: кабіна пожежного автомобіля, теплове випромінювання пожежі, кількість теплоти, тепловий баланс, надходження теплоти, втрати теплоти

В.В. Соколянський

АНАЛИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА КАБИНЫ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРА

В статье изучены возможные поступления и потери теплоты в кабине пожарного автомобиля, находящегося под воздействием тепловых потоков открытого пожара. Предложены расчетные и экспериментальные методы определения величин составляющих тепловой баланс кабины. Проведено сопоставление их значений. Из общего уравнения теплового баланса кабины выбраны составляющие, которые могут являться исходными данными для разработки математической модели теплообмена кабины автомобиля с окружающей средой.

Ключевые слова: кабина пожарного автомобиля, тепловое излучение пожара, количество теплоты, тепловой баланс, тепlopоступления, тепlopотери

V.V. Sokolianskyi

ANALYSIS OF COMPONENTS OF THERMAL BALANCE CABINS OF THE FIRE FIGHTING VEHICLES AT FIRE EXTINGUISHING

In article possible receipts and losses of warmth in a cabin of the fire truck which is under the influence of thermal streams of the open fire are studied. Calculation and experimental methods of determination of sizes of components of thermal balance of a cabin are offered. Comparison of their values is carried out. Components which can be basic data for development of mathematical model of heat exchange of a cabin of the car with environment are chosen from the general equation of thermal balance of a cabin.

Key words: cabin of the fire fighting vehicles, thermal radiation of the fire, amount of heat, thermal balance, heatreceipt, heatlosses

Вступ. Для гасіння великих відкритих пожеж пожежні автомобілі можуть використовувати стаціонарні лафетні стволи, встановлений на даху кабіни. Це дозволяє підвищити ефективність гасіння пожежі, збільшити швидкість реагування на зміну обстановки. Але при цьому пожежний автомобіль працює на порівняно невеликих відстанях від фронту полум'я і піддається потужній тепловій дії.

Аналіз експлуатації пожежних автомобілів показує, що іноді їх не вдається встановити на необхідну відстань від фронту полум'я, вони отримують значні ушкодження, а особливий склад – травми від теплової дії.

Постановка проблеми. При зовнішній тепловій дії відкритої пожежі на пожежний автомобіль кількість теплоти визначається схемою дії джерела теплового випромінювання (спереду, збоку чи з двох боків), і тривалістю цієї дії, тобто видом виконуваної автомобілем роботи. А кількість теплоти, що поступила в кабінку автомобіля, визначає умови мікроклімату в ній для екіпажу, що, у свою чергу, визначає саму можливість виконання поставленого тактичного завдання.

Отже, при розробці нових типів пожежних автомобілів необхідно приділяти увагу забезпеченню безпечного мікроклімату в кабінці, а для автомобілів, що знаходяться в експлуатації, розробляти технічні засоби теплового захисту кабін.

Витрати на розробку такого захисту можна значно скоротити, якщо скористатися математичним моделюванням процесу теплообміну кабінки автомобіля з довкіллям.

Для розгляду ролі огороджувачів в сумарному надходженні тепла теплообмін кабінки автомобіля з довкіллям необхідно розглядати як теплообмін геометрично замкнутої системи, де параметри теплообміну окремих елементів взаємопов'язані.

Очевидно, що тепла рівновага в кабінці автомобіля настане тоді, коли теплові потоки, які в неї поступають, дорівнюватимуть тепловим потокам, що виходять з неї. Тобто рівняння теплового балансу кабінки виглядатиме таким чином:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (1)$$

де Q_i – надходження теплоти в кабінку, Вт;

Q_j – втрати теплоти з кабінки, Вт.

Кабінка і салон бойового розрахунку пожежного автомобіля є суцільнометалевою вентиляваною камерою з прозорими (точніше світлопрозорими) і непрозорими огородженнями, в якій розміщуються люди. Конструкція кабінки визначається типом і призначенням автомобіля. Проте основна відмінність в огороженнях полягає лише в розмірах елементів і номенклатурі використовуваних матеріалів. Це дозволяє представити кабінку автомобіля у формалізованому виді (рис. 1) і аналізувати складові її теплового балансу за методикою, викладеною в [1].

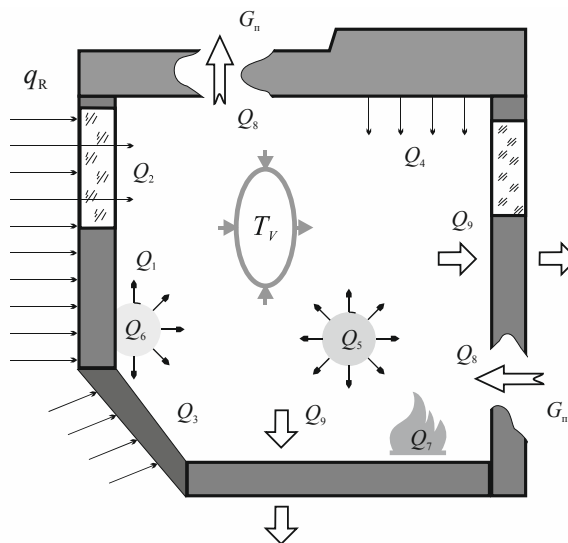


Рисунок 1 – Схематичне зображення теплового балансу кабінки пожежного автомобіля

Основна частина. З урахуванням складових теплового балансу рівняння (1) має вигляд:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = Q_9, \quad (2)$$

де Q_1 – кількість теплоти, що надходить до кабіни крізь опромінювані непрозорі огороження, Вт;

Q_2 – кількість теплоти, що надходить до кабіни крізь опромінювані світлопрозорі огороження, Вт;

Q_3 – кількість теплоти, що надходить до кабіни автомобіля від працюючого двигуна, Вт;

Q_4 – кількість теплоти, що надходить до кабіни (чи видаляється з неї) системами опалення, вентиляції і кондиціонування, Вт;

Q_5 – кількість теплоти, що надходить до кабіни від водія автомобіля та членів бойового розрахунку, Вт;

Q_6 – кількість теплоти, що надходить від приладів та обладнання кабіни, Вт;

Q_7 – кількість теплоти, що виділяється в кабіні при горінні обладнання і матеріалів оздоблення, Вт;

Q_8 – кількість теплоти, що надходить до кабіни (чи видаляється з неї) разом із зовнішнім повітрям, що проходить крізь нещільності, Вт;

Q_9 – втрати тепла кабіни крізь поверхні огорожень, які в даний час не піддаються тепловому опроміненню, Вт.

При цьому слід мати на увазі, що деякі складові теплового балансу в загальному випадку можуть бути як позитивними, так і негативними. Розглянемо детально складові рівняння (2).

Q_1 – надходження тепла крізь опромінювані непрозорі огороження. В загальному випадку $Q_1 = Q_1' + Q_1''$, де Q_1' – надходження тепла крізь вертикальні поверхні; Q_1'' – надходження тепла крізь горизонтальні поверхні. Значення Q_1 визначається тепловими потоками від пожежі, сонячною радіацією (прямою і розсіяною) і температурою довкілля.

Температура довкілля і інтенсивність сонячної радіації можуть прийматися відповідно до нормативних документів, або визначатися по методиках, що враховують розміщення і орієнтацію об'єкту [2]. Для більшості розрахунків інтенсивність прямої сонячної радіації допускається приймати рівною $0,815 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ [3].

При гасінні пожежі сонячною радіацією допускається нехтувати, як незрівнянно меншою, аніж теплове випромінювання фронту полум'я. Крім того, задимлення – незмінний супутник процесу горіння – також значно знижує інтенсивність сонячної радіації, що досягає автомобіля.

Q_2 – надходження тепла крізь опромінювані світлопрозорі огороження. В загальному випадку $Q_2 = Q_2' + Q_2'' + Q_2'''$, де Q_2' – надходження тепла через лобове скло, Q_2'' – через бокове скло, Q_2''' – через заднє скло (при його наявності). Значення Q_2 визначається тепловими потоками від пожежі, сонячною радіацією і температурою довкілля аналогічно Q_1 .

Q_3 – надходження тепла від працюючого двигуна автомобіля. На практиці значення Q_3 визначають за формулою:

$$Q_3 = K_3 \cdot (T_3 - T_v) \cdot F_3, \quad (3)$$

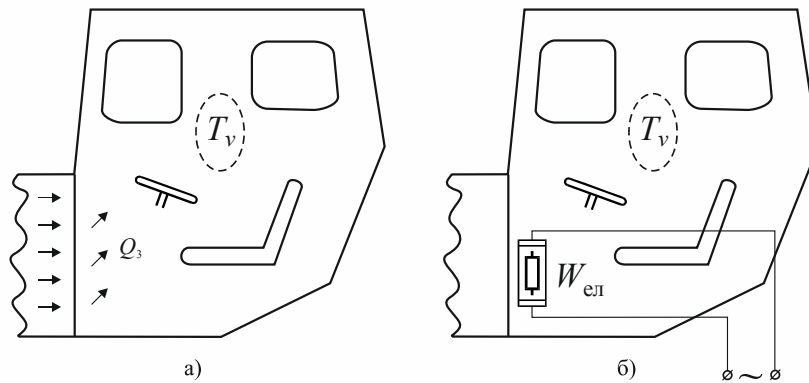
де K_3 – коефіцієнт теплопередачі елемента огороження між моторним відсіком та кабіною, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$;

T_3 – температура повітря в моторному відсіку, К;

T_v – температура повітря в кабіні, К;

F_3 – площа елемента огороження між моторним відсіком та кабіною, м^2 .

Для дослідження пожежних автомобілів автором експериментально визначалася кількість надходження тепла від двигуна при різних режимах його роботи (рис. 2). Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1.



$$T_{V_б} = T_{V_a} \Rightarrow W_{ел} = Q_3$$

Рисунок 2 – Схема для експериментального визначення Q_3 у тепловому балансі кабіни:
а) виміри температури в кабіні при працюючому двигуні; б) підбір електронагрівачів еквівалентної потужності у кабіні

Таблиця 1

Середнє надходження теплоти від двигуна пожежного автомобіля

Режим роботи двигуна	Надходження тепла від двигуна автомобіля, Вт		
	АЦ-40(130)63Б	АН-40(130)127	АЦ-40(131)137
Холості оберти	210	210	200
Робота на насос	380	410	360
Робота на насос з додатковим охолодженням	290	320	300

Q_4 – надходження тепла від систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря. Значення Q_4 визначається експериментально, виходячи з того, що вентиляція кабіни автомобіля здійснюється зовнішнім (чи внутрішнім, через кондиціонер), підігрітим або охолодженим повітрям.

Максимальна кількість теплоти, що подається чи виводиться з кабіни вентилятором, може бути вирахована за допомогою формули [1]:

$$Q_4 = \rho \cdot c_p \cdot W \cdot (\Delta t_г - \Delta t_{вент}), \quad (4)$$

де ρ – густина повітря, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

c_p – питома теплоємність повітря, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

W – подача повітря вентилятором, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

$\Delta t_г$ – різниця температур між внутрішнього та зовнішнього повітря, К;

$\Delta t_{вент}$ – підвищення температури повітря всередині вентилятора, орієнтовно 0,3 К.

Слід мати на увазі, що можливості вентиляції в цьому дуже обмежені, передусім максимально допустимою санітарними нормами швидкістю повітря усередині кабіни $V_{ем} = 1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Тобто, тепловий потік, що виводиться вентилятором з кабіни об'ємом 2 – 4 м^3 , не перевищує 372 Вт [1]. У разі ж наявності внутрішнього кондиціонера додатково враховується його холодо- або теплопродуктивність.

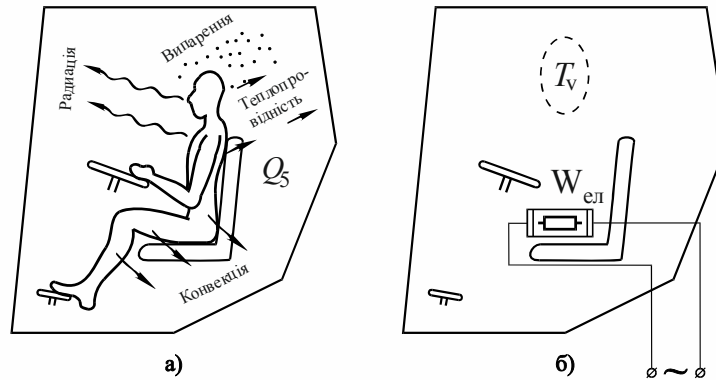
Q_5 – надходження тепла від водія і членів екіпажу. Виділення тепла людиною залежить від ступеня тяжкості виконуваної ним роботи і може змінюватися в досить широких межах.

В інтервалі температур повітря від +18 до +30 $^{\circ}\text{C}$ кількість теплоти, що передається повітрю від водія або члена екіпажа (випромінюванням, конвекцією, потовиділенням і теплопровідністю) може визначатися за емпіричною формулою [4]:

$$Q_5 = K_L \cdot (186 - 1,8 \cdot T_v), \quad (5)$$

де K_L – кількість пасажирів у кабіні (разом з водієм);
 T_v – температура повітря в кабіні, $^{\circ}\text{C}$.

При експериментальному визначенні Q_5 (рис. 3) автором отримано такі результати: надходження тепла від людини в стані спокою 75-85 Вт; надходження тепла при експлуатації пожежного автомобіля : водій (керування автомобілем) – 200-230 Вт, пожежник (керування лафетним стволом) – 170–210 Вт.



$$T_{v_6} = T_{v_a} \Rightarrow W_{\text{ел}} = Q_5$$

Рисунок 3 – Схема для експериментального визначення Q_{5y} тепловому балансі кабіни: а) дані температури в кабіні з особовим складом; б) підбір електронагрівачів еквівалентної потужності у кабіні

Q_6 – надходження тепла від приладів та обладнання. Орієнтовне значення Q_6 можливо визначити за допомогою формули [1]:

$$Q_6 = Q_{\text{ел}} + Q_{\text{ен}} + Q_{\text{ед}} + Q_{\text{ео}} + Q_{\text{др}}, \quad (6)$$

де $Q_{\text{ел}}$ – тепловиділення контрольних ламп щитка приладів и ламп освітлення кабіни (практично еквівалентно їхньої потужності), Вт;

$Q_{\text{ен}}$ – тепловиділення від електричних дротів, Вт;

$Q_{\text{ед}}$ – тепловиділення від електродвигунів, Вт;

$Q_{\text{ео}}$ – тепловиділення від додаткового електрообладнання кабіни (радіостанцій, звукопідсилюючих приладів і т.п.), Вт;

$Q_{\text{др}}$ – тепловиділення від неелектричного обладнання (гідравлічного і т.п.), яке встановлено в кабіні, Вт;

Тепловиділення від електричних дротів можливо розрахувати за допомогою закону Джоуля-Ленца:

$$Q_{\text{ен}} = \frac{U^2}{\rho} \cdot F \cdot L, \quad (7)$$

де U – напруга в бортовій мережі автомобіля, В;

ρ – питомий опір матеріалу дроту (з урахуванням його підвищення внаслідок підвищення температури при тривалій роботі електродроту), $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 \cdot \text{м}^{-1}$;

F – переріз дроту, мм^2 ;

L – довжина дроту, м.

Тепловиділення від електродвигунів можливо приблизно оцінити за формулою:

$$Q_{\text{ед}} = (1 - \eta) \cdot N, \quad (8)$$

де η – КПД електродвигуна;

N – потужність електродвигуна, Вт.

Значення Q_{eo} і $Q_{\text{др}}$ визначаються тільки експериментальним шляхом для кожного приладу і агрегату, що знаходиться в кабіні. Причому для більшості приладів тепловиділення, внаслідок його малого значення, можливо визначити тільки калориметричним методом.

Так автором була виміряна потужність, що виділяється на радіостанції 56РТМ-А2-ЧМ «Пальма». Середній показник склав 10 – 15 Вт в режимі прийому та 30 – 45 Вт в режимі передачі.

Q_7 – надходження тепла при горінні устаткування і матеріалів обробки кабіни. У загальному випадку займання горючих матеріалів всередині кабіни можливе:

- при несправностях устаткування автомобіля (наприклад при короткому замиканні електродротів);
- при термічному розкладанні горючих матеріалів інтер'єру під впливом потужних теплових потоків пожежі;
- при внесенні відкритого вогню всередину кабіни внаслідок руйнування захисних конструкцій (в першу чергу скління кабіни).

Значення Q_7 можна розрахувати, знаючи пожежне навантаження всередині кабіни та пожежонебезпечні властивості застосованих матеріалів інтер'єру (масову швидкість вигорання матеріалу і теплоту його згорання) [5]:

$$Q_7 = \sum_{i=1}^n (\eta_i \cdot \psi_{Fi} \cdot F_i \cdot Q_{Hi}), \quad (9)$$

де η_i – коефіцієнт повноти згорання і-го матеріалу;

ψ_{Fi} – питома швидкість вигорання і-го матеріалу, $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$;

F_i – площа і-го матеріалу, охоплена полум'ям, м^2 ;

Q_{Hi} – нижча теплота згорання і-го матеріалу, Дж/кг.

Враховуючи, що при горінні усередині кабіни автомобіля ні водій, ні члени екіпажу знаходяться в ній вже не можуть, при дослідженні параметрів мікроклімату в кабіні автомобіля слід вважати $Q_7 = 0$.

Q_8 – надходження тепла від зовнішнього повітря, яке проникає через нещільність кабіни. У загальному випадку кількість повітря, що поступає (і що виходить) через нещільності кабіни, визначається за методикою, викладеною в [4]. Експеримент проводиться на автомобілі, який було спеціально дообладнано (рис. 4).

Перед вимірами усі отвори кабіни (рульової колонки, приводів управління, дверних ручок і тому подібне) по черзі герметизуються. Під час випробувань визначаються: статичний тиск P_k в повітрязабірнику 2, динамічний тиск P_d в повітропроводі 5, статичний тиск P в кабіні, тиск P_n і температура T_n зовнішнього повітря. Потім по черзі відкриваються усі отвори і робляться аналогічні виміри в кожному випадку. Витрати повітря $G_{\text{пі}}$ для кожної нещільності і для кабіни в цілому визначаються за формулою [4]:

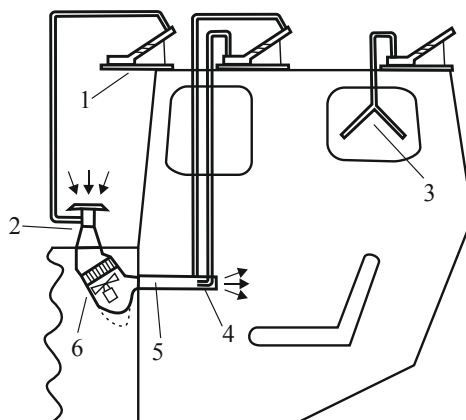


Рисунок 4 – Схема дообладнання кабіни автомобіля для експериментального визначення Q_8 в тепловому балансі кабіни: 1 – мікроманометр; 2 – повітрязабірник; 3 – приймач статичного тиску; 4 – приймачі повного і статичного тиску; 5 – повітропровід; 6 – вентилятор

$$G_n = \sum_{i=1}^n \left(\varepsilon_i \cdot S_i \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_n}} \right), \quad (10)$$

де ε_i – коефіцієнт витоку повітря крізь і-й отвір;
 S_i – площа перерізу і-го отвору, м²;
 ΔP – перепад тисків зовні та всередині кабіни, Па;
 ρ_n – густина повітря, кг·м⁻³.

За відомим значенням G_n визначається значення Q_8 :

$$Q_8 = \rho \cdot c_p \cdot G_n \cdot \Delta t_n \quad (11)$$

Якщо вважати кабіну автомобіля герметичною, то витратами повітря і, відповідно, Q_8 можна нехтувати. Проте при ушкодженнях огорожуючих конструкцій (наприклад руйнуванні скла під впливом потужного теплового випромінювання) значення G_n стає значним, і необхідно визначати значення Q_8 .

Q_9 – втрати тепла через поверхні кабіни, які в даний час не піддаються тепловому опроміненню. Значення Q_9 враховує втрати теплоти випромінюванням, конвекцією від нагрітих стінок і тепловідведення з нагрітим повітрям, що виходить крізь нещільності кабіни.

Як показує аналіз складових рівняння (2), основну роль в загальному надходженні теплоти в кабіну автомобіля на пожежі відіграє теплове випромінювання відкритого полум'я. Також відносно значимими є надходження теплоти від двигуна автомобіля, від водія та членів екіпажу. Іншими складовими, через їх малі значення, в цих умовах застосування пожежного автомобіля можна нехтувати. У зв'язку з цим рівняння теплового балансу кабіни буде мати вигляд:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 - Q_9 = 0 \quad (12)$$

Висновок. Таким чином, визначені вище складові рівняння теплового балансу кабіни автомобіля (12) є початковими даними для математичної моделі теплообміну кабіни пожежного автомобіля з довкіллям [6], яка дає змогу розраховувати температуру середовища всередині кабіни при тепловій дії відкритої пожежі.

Список літератури

1. Михайлов М.В. Микроклимат в кабинах мобильных машин. / М.В. Михайлов, С.В. Гусева. – М.: Машиностроение. – 1977. – 230 с.
2. Халимов А.Г. Радиационные характеристики гелиотеплицы / А.Г. Халимов, Б.Э. Хайриддинов, В.Д. Ким // Гелиотехника. – 2009. – №1. С. 22–25.
3. Макарова Е.А. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная / Е.А. Макарова, А.В. Харитонов. – М.: Наука. – 1972. – 288 с.
4. Хохряков В.П. Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей / В.П. Хохряков. – М.: Машиностроение. – 1987. – 152 с.
5. Исхаков Х.И. Пожарная безопасность автомобиля / Х.И. Исхаков, А.В. Пахомов, Я.Н. Каминский. – М.: Транспорт. – 1987. – 88 с.
6. Соколянский В.В. Моделирование процесса теплообмена кабины автомобиля с окружающей средой / В.В. Соколянский // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – Макеевка, 1995, № 95-1(1). – С. 142-147.

References

1. Mikhailov M. V. & Guseva S.V. (1977). Mikroklimat v kabinakh mobilnykh mashin [Mikroklimat in cabins of mobile cars]. Moscow, Russia, Mechanical engineering (in Russ).
2. Khalimov A.G., Khairiddinov B.E. & Kim V.D. (2009). Radiatsionnye kharakteristiki helioteplitsy [Radiation characteristics of heliogreenhouse]. Heliotekhnika [Solar technology], 1, Tashkent, Uzbekistan, 22-25 (in Russ).

3. Makarova E.A. & Kharitonov A.V. (1972). Raspredelenie enerhii v spektre Solntsa i Solniechnaia postoiannaia [Distribution of energy in range of the Sun and the Solar constant]. Moscow, Russia, Science (in Russ).

4. Hokyryakov V.P. (1987). Ventiliatsiia, otoplenie i obespylivanie vozduka v kabinakh avtomobilei [Ventilation, heating and dedusting of air in cabins of cars]. Moscow, Russia, Mechanical engineering (in Russ).

5. Iskhakov Kh.I., Pakhomov F.V. & Kaminskii Ya.V. (1987). Pozharnaia bezopasnost avtomobilei [Fire safety of car]. Moscow, Russia, Transport (in Russ).

6. Sokolianskyi V. V. (1995). Modelirovanie protsessa teploobmena kabiny avtomobilia s okrezhaiushchei sredoi [Modeling of heat exchanging process of cabin of the car with environment]. Vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi akadiemii stroitelstva I arkhitektury [*The Bulletin of the Donbass state academy of construction and architecture*], 95-1(1). Makeevka, Ukraine, 142-147 (in Russ).

