

УДК 658.113.004

В.М. Бритковський, к.т.н., доц.

С.В. Немий, к.т.н., доц.

Національний університет "Львівська політехніка"

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ САЛОНІВ АВТОБУСІВ

Останнім часом проблема безпеки життєдіяльності людей здебільшого розглядається в аспектах стихійних і техногенних катастроф, пожеж, охорони праці і техніки безпеки на виробництві. Практично поза увагою залишається проблема, що пов'язана із побутом людей, зокрема користування автобусним транспортом. Крім вказаного, існує й інший бік проблеми – сучасний розвиток промисловості і транспорту характеризується масштабним впровадженням технічних заходів, що спрямовані на економію енергоресурсів. У вказаному аспекті обґрунтовано теоретичні залежності для оцінювання техніко-економічної ефективності джерел світла у системі внутрішнього освітлення автобусів. Вказані теоретичні залежності становитимуть аналітичну основу обґрунтування доцільності застосування відповідних джерел світла із врахуванням гігієнічних вимог до освітлення. Запропонована методика розрахунку економічної ефективності системи освітлення салонів автобусів. Оціночним параметром обґрунтовано відносне значення цільової функції витрат на одиницю часу чи пробігу автобуса. Найбільші витрати характерні для світильників із лампами розжарення. Найменші властиві світильникам із люмінесцентними лампами. Світлодіодні лампи не мають істотних переваг навіть порівняно із лампами розжарення. Причиною цього є порівняно високе значення колірної температури випромінювання світлодіодних ламп, що вимагає більшого рівня освітленості і, відповідно, більших витрат енергії, та порівняно велика початкова вартість цих ламп.

Ключові слова: освітлення автобусів; лампа розжарення; люмінесцентна лампа; світлодіодна лампа; витрати на освітлення автобусів; зоровий комфорт; лампа для освітлення автобусів.

Формулювання проблеми. В останні роки проблема безпеки життєдіяльності людей здебільшого розглядається у аспектах стихійних і техногенних катастроф, пожеж, охорони праці і техніки безпеки на виробництві. Практично поза увагою залишається проблема, що пов'язана із побутом людей, зокрема користування автобусним транспортом. Річ у тім, що пасажирські перевезення впродовж певного часу здійснюються в темну пору доби з використанням штучного освітлення салонів. Безсумнівно, що рівень освітленості, насамперед салонів міських автобусів, та її якісний склад повинні відповідати фізіологічним властивостям зорового апарату людини та не впливати негативно на нього.

Крім вказаного, існує й інший бік проблеми – сучасний розвиток промисловості і транспорту характеризується масштабним впровадженням технічних заходів, спрямованих на економію енергоресурсів. У цьому аспекті важливим напрямком підвищення експлуатаційної ефективності двигунів і автобусів у цілому є зниження витрат для енергоживлення допоміжних агрегатів, зокрема генератора [8, 10]. У таблиці 1, наприклад, наведено значення струмів навантаження генераторів деяких міських автобусів системою внутрішнього освітлення із традиційними лампами розжарення у режимі нічної експлуатації.

Таблиця 1
Навантаження генераторів міських автобусів системою внутрішнього освітлення із лампами розжарення

Споживач електроенергії	Струм навантаження генератора, А			
	ЛАЗ-5256	ЛАЗ-42021	ЛАЗ-5252	ЛАЗ-А183
Всі постійні і тимчасові споживачі	75,1	53,32	74,25	92,24
Плафони освітлення салонів і маршрутних вказівників	30	18,1	30	28,5
Частка у загальному балансі електроенергії, %	40,0	34,0	40,4	31,0

Як бачимо (табл. 1), енергетичні витрати для освітлення салонів міських автобусів можуть становити понад 40 % еквівалентного струму навантаження генератора, для привода якого витрачається частина потужності двигуна.

Останнім часом для зменшення енергетичних витрат у системах внутрішнього освітлення автобусів широко застосовуються, крім ламп розжарення, світлодіодні лампи, які мають безумовні технічні переваги. Однак при застосуванні світлодіодних ламп на автобусах практично не враховують гігієнічний аспект експлуатації – комфортні умови перевезення пасажирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні проблема раціонального освітлення пасажирських приміщень автобусів у гігієнічному і техніко-економічному аспектах досліджена порівняно мало. Основний напрям відповідних досліджень – це вирішення гігієнічних і економічних проблем систем побутового та виробничого освітлення [4, 6, 11, 12, 14, 15]. Однак у [8, 9, 10] зазначено, що зменшення енергетичних витрат системами освітлення салонів автобусів, безумовно, при врахуванні всіх гігієнічних вимог і норм щодо штучного освітлення, є одним із напрямків досліджень, що спрямовані на покращення паливної ощадливості автобусів і комфорту пасажирів.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування теоретичних залежностей для оцінювання техніко-економічної ефективності джерел світла у системі внутрішнього освітлення автобусів. Вказані теоретичні залежності становитимуть аналітичну основу обґрунтування доцільності застосування відповідних джерел світла із врахуванням гігієнічних вимог до освітлення.

Викладення основного матеріалу. У гігієнічному аспекті важливе значення має спектральний склад світла, який формує психологічне сприйняття тієї чи іншої освітленості. Для кожного джерела світла існують нижня і верхня межі зорового комфорту, поза якими освітлення сприймається як гнітюче, сутінкове або як надміру яскраве. Ці межі підвищуються зі збільшенням колірної температури випромінювання T_k , що ілюструється кривими (рис. 1), які експериментально отримані Густавом Крюйтгофом [1–3].

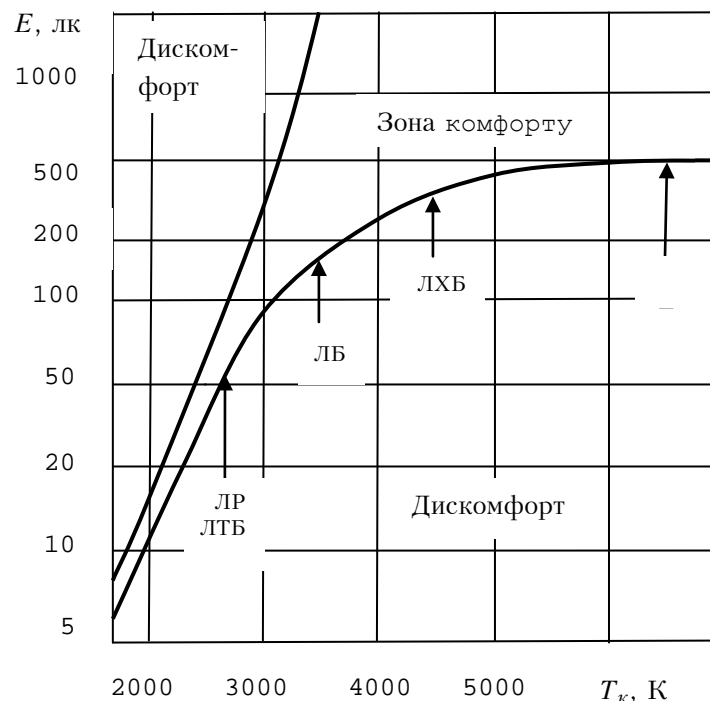


Рис. 1. Межі зорового комфорту при освітленні лампами розжарювання (ЛР) та люмінесцентними: ЛТБ – тепло-білого світла; ЛБ – білого світла; ЛХБ – холодно-білого світла; ЛД – денного світла

Колірна температура – це характеристика інтенсивності процесу випромінювання джерела світла як функція довжини хвилі у діапазоні видимого випромінювання (380–760 нм). Вона відповідає температурі абсолютно чорного тіла, за якої воно випромінює світло з тією самою хроматичністю, що й дане випромінювання. Колірна температура характеризує спектральний склад випромінювання джерела світла [3, 7]. Термін введений Г.Крюїтгофом ще у 1862 р.

Якщо, наприклад, створити освітленість величиною 30 лк окремо лампами розжарення і люмінесцентними, то за однакової освітленості у першому випадку вона буде сприйматися як добра, а у другому – недостатньою, сутінковою. Причиною цього є те, що очі людини за період еволюції розвивалися під впливом сонячного (денного) світла і практично ідеально пристосовані до його сприйняття. Крім цього, застосування протягом тисячоліть для штучного освітлення вогневих джерел світла (вогнище, факел, свічка, олійна лампа) виробило в людській психіці позитивне сприйняття порівняно низьких рівнів освітленості, що створюються саме вогневими джерелами [1, 3]. Отже, чим вища температура колірного випромінювання джерела, тим більшого рівня освітленості потребує людина.

Критерієм економічно вигідних норм є мінімум споживання енергії, тобто підвищення паливної ощадливості автобуса, внаслідок чого в даному аспекті найбільш вигідними будуть мінімально допустимі значення освітленості і застосування джерел світла із найбільшим світловим ККД.

Комфортні умови повинні забезпечувати мінімальну освітленість, за якої можливе читання друкованого тексту – книги, журнали, газети – без зорового напруження, не дивлячись на те, що, в принципі, процес читання не є характерною зоровою роботою, яку виконують пасажери автобусів.

Отже забезпечення зазначених умов на оптимальному рівні буде залежати від характеристик джерел світла: ламп розжарення, люмінесцентних та світлодіодних ламп.

Лампи розжарення мають ККД всього близько 3 %. Ступінь енергетичних витрат для світлового випромінювання (економічність джерела світла) характеризується світловою віддачею (показником світлової ефективності випромінювання) η_v , тобто відношенням світлового потоку Φ , що випромінюється джерелом світла, до споживаної ним потужності P :

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P}. \quad (1)$$

Номінальні параметри ламп розжарення для освітлення салонів автобусів і кабін автомобілів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики ламп розжарення для внутрішнього освітлення АТЗ

Тип лампи	Номінальна напруга U_d , В	Потужність P_d , Вт	Світловий потік Φ_d , лм	Середня тривалість горіння τ_o , год.
A12-21-3	13,5	25	460	150
A24-21-3	28	28	460	200

ККД люмінесцентних ламп, $\eta_c = 9 \%$, що є в тричі більшим, ніж у ламп розжарення. Крім цього, люмінесцентні лампи, за рахунок зменшення випромінювання в інфрачервоній області, мають світлову віддачу $\eta_v = 50\text{--}80$ лм/Вт.

Люмінесцентні лампи завдяки більш високій, порівняно із лампами розжарення, економічності широко використовуються в зарубіжній практиці для освітлення салонів автобусів.

Виходячи зі світлової віддачі, а також із врахуванням зорового комфорту, згідно з колірною температурою випромінювання (рис. 1), бачимо (табл. 3), що найбільш придатними для освітлення салонів автобусів є люмінесцентні лампи типу ЛТБ (тепло-білі) і ЛБ (білі), причому перші мають безперечну перевагу, оскільки їх колірна температура практично збігається із колірною температурою ламп розжарення.

Останнім інноваційним винаходом у світлотехніці стали світлодіоди. Не зважаючи на деякі недоліки даних джерел світла, вони вже успішно застосовуються в різних сферах людської діяльності. Світлодіоди знаходять собі застосування не лише в декоративних підсвічуваннях, але й у повноцінному освітленні приміщень.

У світлодіодах велика частина енергії йде в світловий потік (теплових втрат практично немає), оскільки напівпровідникові джерела для випромінювання світла не потребують нагрівання, як, наприклад, лампи розжарення.

Порівняно з люмінесцентними лампами, а тим більше з лампами розжарення, напівпровідникові прилади живляться в рази меншою величиною струму. Крім цього, в інфрачервоній області світлова віддача світлодіодних ламп $\eta_V = 110\text{--}120$ лм/Вт. Однак важливим недоліком світлодіодних ламп є їх вартість.

Рівень світлотехнічних та ресурсних характеристик СДЛ провідних виробників (Philips, Osram та ін.) вже суттєво перевищує рівень вказаних характеристик для компактних люмінесцентних ламп. У таблиці 4 наведено характеристики світлодіодних ламп цих фірм для прямої заміни ламп розжарення [16, 17].

Таблиця 3

Основні характеристики світлодіодних ламп провідних фірм

Параметр	Фірма		
	Philips	Osram	Toshiba
Потужність, Вт	9,7	9	8,4
Світловий потік, лм	910	700	600
Світлова віддача, лм/Вт	93	78	71
Колірна температура, К	2700	3000–4000	3000–4000
Термін роботи, год.	25000	10000	25000

Як бачимо для освітлення пасажирських приміщень автобусів найбільш придатними, з енергетичної та гігієнічної точок зору, є світлодіодні лампи фірми Philips.

Технічні характеристики деяких типів світлодіодних ламп вітчизняного виробництва для автомобільних світильників [17] наведено у таблиці 4. До недоліків світлодіодних ламп вітчизняного виробництва слід віднести те, що за колірною температурою випромінювання вони належать до ламп білого світла (у каталогах декларується $T_k = 3500\text{--}4500$ К [16, 17]). Це на рівні мінімальної комфортної межі вимагає освітленості у 250 лк. При цьому для ламп розжарення і люмінесцентних – 50 лк (рис. 1).

Таблиця 4

Технічні характеристики світлодіодних ламп білого світла вітчизняного виробництва для автомобільних світильників

Тип лампи	Розмір цоколя, мм	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Вартість грн.
Falkon T10Ч36-6X	36	1,5	150	163
ISKRA FHPLL120301S– W/39	38	1,5	150	140
ISKRA FHPLL24030603S–W/36	36	3,0	300	120
ISKRA 240713021/5WS2524 BAY15D	BA 15s	5,0	400	177

Узагальнюючи наведені дані, наводимо порівняльні характеристики джерел світла вітчизняного виробництва для світильників пасажирських приміщень автобусів (табл. 6).

Як бачимо (табл. 5), для світильників пасажирських приміщень автобусів, з точки зору мінімального споживання енергії та ресурсу, найбільш ефективними є світлодіодні лампи, оскільки мають найбільший відносний світловий потік і тривалість експлуатації.

Таблиця 5

Характеристики ламп для внутрішнього освітлення автобусів [11, 13, 14]

Тип лампи	Відносний світловий потік Φ_{θ} , лм/Вт	Середня тривалість горіння τ_{θ} , год.
Розжарення	16,43–18,4	150–200
Люмінесцентна (тепло-біла)	54,7–77,5	8000
Світлодіодна (біла)	100	20000

Витрати системою внутрішнього освітлення автобусів залежать від типу джерел світла. Вказані витрати складаються з двох складових: витрати на паливо (енергію) та витрати на заміну ламп впродовж заданого терміну експлуатації чи пробігу.

Витрати енергії для внутрішнього освітлення необхідно розраховувати, виходячи з тривалості нічної експлуатації автобуса t_n . Приймаємо тривалість зимової та літньої експлуатації однаковими. Згідно з [10], співвідношення тривалості нічної та денної експлуатації становить 0,5 : 0,5 у зимовий період та 0,2 : 0,8 – у літній. Виходячи з цього, еквівалентну добову тривалість нічної експлуатації автобуса можна розрахувати за формулою:

$$t_n = 0,5(0,5 + 0,2)T_n = 0,35T_n, \quad (2)$$

де T_n – добова тривалість експлуатації автобуса.

Витрати потужності (Вт) для живлення плафонів системи внутрішнього освітлення визначаються за формулою:

$$N_{no} = \frac{P}{(\eta_g \cdot \eta_n)}, \quad (3)$$

де P – мінімальні енергетичні витрати при використанні відповідного типу ламп, Вт; η_g – ККД генератора; η_n – ККД привода генератора.

Витрати палива для живлення плафонів можна визначити за формулою:

$$Q_p = \frac{N_{no} T_a q}{1000 \gamma} = \frac{q P T_a}{1000 \eta_g \eta_n \gamma}, \quad (4)$$

де T_a – розрахункова тривалість експлуатації автобуса, год.; q – питомі витрати палива двигуном, г/(кВт·год.); γ – питома вага палива, кг/л.

Виходячи з (3) і (4), витрати на паливо для живлення плафонів системи внутрішнього освітлення визначаються за формулою:

$$B_n = Q_n \Pi_n = \frac{q P T_a \Pi_n}{1000 \eta_g \eta_n \gamma}, \quad (5)$$

де Π_n – вартість палива, грн./л;

Експлуатаційні витрати, що пов'язані із заміною ламп, розраховуємо за формулою:

$$B_e = \frac{T_a \Pi_l m}{\tau_o}, \quad (6)$$

де Π_l – вартість лампи; m – кількість ламп; τ_o – середня тривалість горіння ламп, год.

Як критерій економічної ефективності використання певного виду ламп для живлення плафонів системи внутрішнього освітлення пропонуємо використовувати мінімальне значення цільової функції витрат, тобто:

$$E = B_n + B_e \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для оцінювання більш зручним буде відносно значення цільової функції на одиницю часу експлуатації автобуса, яке отримаємо, розділивши значення цільової функції (6) на розрахункову тривалість експлуатації автобуса:

$$E_n = \frac{B_n + B_e}{T_a} = \frac{q P \Pi_n}{1000 \eta_g \eta_n \gamma} + \frac{\Pi_l m}{\tau_o} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Виходячи із (2), добові витрати для системи освітлення пасажирського приміщення автобуса можна визначити за формулою:

$$B_{co} = t_n E_n = 0,35 T_n E_n. \quad (9)$$

Маючи величину добових витрат, можна визначити витрати системою внутрішнього освітлення залежності від заданого терміну експлуатації чи пробігу.

Як випливає з (3)–(7), найбільш економічно ефективними будуть ті джерела світла, в яких значення цільової функції (8) буде найменшим.

Для прикладу проведемо порівняльне оцінювання економічної ефективності джерел світла для великого міського автобуса моделі ЛАЗ А183, що укомплектований двигуном DEUTZ ВF6М 1013ЕС. Кількість ламп приймаємо згідно з попередньо отриманими розрахунковими даними. Для розрахунків прийнято наступні загальні вихідні дані.

1. Колірна температура випромінювання: ламп розжарення і люмінесцентних $T_k = 2700$ К; білих світлодіодних ламп $T_k = 3500$ – 4500 К [17].

2. Необхідна кількість ламп визначена за умови забезпечення мінімального значення освітленості для даних значень колірної температури випромінювання (рис. 1): ламп розжарення і люмінесцентних $E = 50$ лк; білих світлодіодних ламп $E = 250$ лк.

3. Питомі витрати палива двигуном DEUTZ BF6M 1013EC, згідно з фірмовим каталогом, $q = 196$ г/(кВт·год.).

4. ККД генератора $\eta_z = 0,51$; ККД пасового привода генератора $\eta_n = 0,95$ [10].

5. Питома вага дизельного палива (за температури двигуна 80 °C) $\gamma = 0,73$ кг/л [5].

6. Тривалість добової експлуатації автобуса $T_n = 14$ год.

7. Вартість дизельного палива $C_n = 16$ грн./л.

Інші розрахункові дані та результати розрахунків за наведеними вище формулами наводимо у таблиці 6.

Таблиця 6

Порівняння економічної ефективності джерел світла

Тип лампи	Вартість лампи C_l , грн.	К-сть ламп, m	Мінімальні енергетичні витрати P , Вт	Відносні витрати, грн./год.			Добові витрати $B_{до}$, грн.
				на паливо	на заміну ламп	сумарні $E_{пр}$	
Розжарення А24-21-3	3,0	17	479	3,975	0,255	4,23	20,73
Люмінесцентна VOLTA КЛ19G23ПК	9,8	18	162	1,34	0,27	1,61	7,89
Світлодіодна ISKRA FHPLL24030603S-W/36	120	263	394	3,276	0,792	4,068	19,93
Світлодіодна стрічка RZ00COTC-A-T-1	262/м	18 м	473	3,92	0,236	4,156	20,36

Як випливає із проведеного аналізу, у даному випадку найбільш ощадливими є світильники із люмінесцентними лампами.

Висновки:

1. Обґрунтована методика розрахунку економічної ефективності системи освітлення салонів автобусів. Як оціночний параметр запропоновано відносне значення цільової функції витрат на одиницю часу експлуатації автобуса.

2. Найбільші витрати характерні для світильників із лампами розжарення практично для обох складових (на паливо і на заміну ламп). Найменші витрати властиві світильникам із люмінесцентними лампами. Експлуатаційні витрати світильників із люмінесцентними лампами більш ніж у двічі менші, порівняно із лампами розжарення та світлодіодними лампами.

3. На даний час світлодіодні лампи не мають істотних переваг навіть порівняно з лампами розжарення. Причиною цього є порівняно велика початкова вартість ламп та високе значення колірної температури, що вимагає більшого рівня освітленості і, відповідно, більших витрат енергії.

Список використаної літератури:

1. Бартенбах К. Свет и здоровье / К.Бартенбах // Светотехника. – 2009. – № 2. – С. 4–10.
2. Бельд Г. Свет и здоровье / Г.Ван Ден Бельд // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 4–8.
3. Боммель В. Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты освещения. Результаты последних исследований и их значение для светотехнической практики / Ваут ван Боммель // Светотехника. – 2005. – № 4. – С. 4–6.
4. Горшков А.С. Экономический анализ использования энергоэффективных источников света с точки зрения потребителя / А.С. Горшков, И.А. Войлоков // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 9. – С. 47–50.

5. Емельянов В.Е. Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства, ассортимент, применение / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов. – М. : Астрель ; АСТ ; Профиздат, 2005. – 207 с.
6. Кожушко Г.М. Аналіз переваг та недоліків світлодіодних джерел світла / Г.М. Кожушко, Ю.О. Басова // Науковий вісник ПУСКУ / Серія : Технічні науки. – 2008. – № 1 (28). – С. 8–11.
7. Луизов А.В. Глаз и свет / А.В. Луизов. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
8. Немый С.В. Снижение энергетических затрат на привод вспомогательных агрегатов автобусов / С.В. Немый // Труды ВКЭИавтобуспрома. – Львов, 1983. – С. 99–107.
9. Немый С.В. Внутреннее освещение автобусов / С.В. Немый. – М. : Автомобильная промышленность, 1997. – № 2. – С. 21–22.
10. Немый С.В. Розрахунок енергетичних витрат для приводу автомобільних генераторів / С.В. Немый // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2010. – № 678 : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 83–88.
11. Одицов А.Н. Оценка экономической эффективности использования тепловых и газоразрядных источников света, оснащенных цоколем E27 / А.Н. Одицов // Вісник СевДТУ. – Вип. 92 : Экономика и финансы. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2008. – С. 152–154.
12. Економічна та екологічна оцінка перспектив використання енергоекономічних ламп в житловому секторі / В.М. Сорокін, Г.М. Кожушко, Ю.А. Басова, А.В. Рубалочка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://dspace.uccu.org.ua/bitstream>.
13. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 756 с.
14. Сысоева Е.А. Экономическая эффективность использования светодиодных ламп / Е.А. Сысоева // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2012. – № 3 (21). – С. 119–123.
15. Фонттойном М.Р. Оценка экономичности различных систем искусственного и естественного освещения / М.Р. Фонттойном // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 14–23.
16. Електронний ресурс. – Режим доступу : autosvet.kiev.ua / svetodiодnaya-lampa-falcon.
17. Електронний ресурс. – Режим доступу : www.iskra.com.ua/index.php / uk.UA.

References:

1. Bartenbakh, K. (2009), “Svet i zdorov'e”, *Svetotekhnika*, No. 2, pp. 4–10.
2. Bel'd, G. (2003), “Svet i zdorov'e”, *Svetotekhnika*, No. 1, pp. 4–8.
3. Bommel', V. (2005), “Zritel'nye, biologicheskie i emotsional'nye aspekty osveshcheniya. Rezul'taty poslednykh issledovaniy i ikh znachenie dlya svetotekhnicheskoy praktiki”, *Svetotekhnika*, No. 4, pp. 4–6.
4. Gorshkov, A.S. and Voylov, I.A. (2009), “Ekonomicheskii analiz ispol'zovaniya energoeffektivnykh istochnikov sveta s tochki zreniya potrebitelya”, *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, No. 9, pp. 47–50.
5. Emel'yanov, V.E. and Krylov, I.F. (2005), *Avtomobil'nyy benzin i drugie vidy topliva: svoystva, assortiment, primeneniye*, Astrel': AST: Profizdat, Moscow, 207 p.
6. Kozhushko, G.M. and Basova, Ju.O. (2008), “Analiz perevag ta nedolikhiv svitlodiodnyh dzherel svitla”, *Naukovyy visnyk PUSKU (seriya tehnichni nauky)*, No. (1) 28, pp. 8–11.
7. Luizov, A.V. (1983), *Glaz i svet*, Energoatomizdat, Leningrad, 144 p.
8. Nemyu, S.V. (1983), “Snizhenie energeticheskikh zatrat na privod vspomogatel'nykh agregatov avtobusov”, *Trudy VKEIavtobusproma*, pp. 99–107.
9. Nemyu, S.V. (1997), “Vnutrennee osveshchenie avtobusov”, *Avtomobil'naya promyshlennost'*, No. 2, pp. 21–22.
10. Nemyj, S.V. (2010), “Rozrahunok energetychnykh vytrat dlja pryvodu avtomobil'nykh generatoriv”, *Visnyk Nacional'nogo universytetu “L'viv'ska politehnika” : Dynamika, micnist' ta proektuvannja mashyn i prykladiv*, No. 678, pp. 83–88.

11. Odintsov, A.N. (2008), "Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya teplovykh i gazorazryadnykh istochnikov sveta, osnashchennykh tsokolem E27", *Visnyk SevDTU: Ekonomika i finansy*, Vol. 92, pp. 152–154.
12. Sorokin, V.M., Kozhushko, G.M., Basova, Ju.A. and Rybalochka, A.V., "Ekonomichna ta ekologichna ocinka perspektiv vykorystannja energoekonomichnyh lamp v zhytlovomu sektori", available at: <http://dspace.uccu.org.ua/bitstream>
13. Ayzenberg, Yu.B. (Ed.) (1989), *Spravochnaya kniga po svetotekhnike*, Energoatomizdat, Moscow, 756 p.
14. Sysoeva, E.A. (2012), "Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya svetodiodnykh lamp", *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, No. 3 (21), pp. 119–123.
15. Fontoynom, M.R. (2008), "Otsenka ekonomichnosti razlichnykh sistem iskusstvennogo i estestvennogo osveshcheniya", *Svetotekhnika*, No. 1, pp. 14–23.
16. Internet-magazin "AVTOSVET", available at: <http://autosvet.kiev.ua/svetodiodyi/falcon-hb4-18x-4300k-i-6000k.html> (accessed 14 August 2010).
17. "Svitlodiodna ISKRA FHPLL24030603S-W/36", available at: http://iskra.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=124:-w21x95d-4led&catid=43 (accessed 18 March 2011).

БРИТКОВСЬКИЙ Василь Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси:

– діагностика та ремонт електричного та електронного обладнання автомобілів.

Тел.: 0673976008.

E-mail: v.brytkovsky@gmail.com.

НЄМИЙ Степан Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету "Львівська політехніка".

Наукові інтереси

– дослідження швидкісних і навантажувальних режимів роботи двигунів та агрегатів трансмісії автомобіля та оптимізація їх енергоспоживання.

Тел.: 0673701983.

E-mail: njemyj@polynet.lviv.ua.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2016