

Немий С.В., к.т.н., Данило О.Я.

Національний Університет «Львівська політехніка», м. Львів

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ ДВИГУНІВ АВТОБУСІВ В МІСЬКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Проведено експериментальні дослідження швидкісного режиму двигунів автобусів в міських умовах експлуатації, в результаті чого отримано і наведено відповідні статистичні дані та залежності, які можна використовувати при подальших теоретичних і експериментальних дослідженнях показників роботи автобусних двигунів, що залежать від їх швидкісного режиму експлуатації. Згідно з отриманими експериментальними даними статистичний розподіл обертів колінчастого вала двигунів автобусів в міських умовах експлуатації узгоджується із нормальним розподілом.

Постановка проблеми

Основним показником досконалості автобусів та агрегатів є їх експлуатаційна ефективність. Для формування заданого рівня експлуатаційної ефективності, зокрема надійності автобуса чи його агрегату, а також паливної ощадливості, у першу чергу, необхідно об'єктивно визначити значення параметрів їх експлуатаційних режимів – швидкісного і навантажувального. Це створить передумови для обґрунтованого розрахунку показників, що формують експлуатаційну ефективність, та відповідно планування її рівня.

Наприклад, виходячи із гідродинамічної теорії мащення, граничний зазор S_{\max} (мм) у спряженні шатуна з шийкою підшипника колінчастого вала двигуна [1]:

$$S_{\max} = \frac{0,52d^2\eta\omega}{cP\delta}, \quad (1)$$

де d – діаметр вала, мм;

η – абсолютна в'язкість оливи, $H \cdot c/m^2$;

ω – частота обертання вала, c^{-1} ;

$$c = (l + d)/l,$$

l – довжина підшипника, мм;

P – питоме навантаження на підшипник, Па;

δ – сума висот нерівностей спряжуваних поверхонь вала і підшипника, мм.

З іншої сторони, згідно з рівнянням витрати пального (л/100 км) [2]:

$$Q_s = \frac{q_e P_p 10^{-3}}{36\eta_T}, \quad (2)$$

де $q_e = f(N_e, n)$ – питома витрата пального, $g/(кВт \cdot год)$;

$N_e = f(n), n$ – відповідно потужність двигуна і частота обертання його колінчастого вала;

P_p – сумарна сила опору руху (H), створювана силами опору дороги, повітря та розгону;

η_m – ККД трансмісії.

Як бачимо із наведених прикладів, для визначення значень показників паливної ощадливості, розрахунку деталей та вузлів агрегатів трансмісії автобусів і автомобілів на міцність та об'єктивного прогнозування їх надійності необхідно мати статистичні дані про значення параметрів, якими формуються їх енергетичні параметри та показники міцності та ресурсу. Од-

ним із факторів, який впливає на міцність та ресурс агрегатів трансмісії є їх швидкісний режим. Частота обертання валів агрегатів трансмісії через передавальні відношення коробки переміни передач і головної передачі безпосередньо пов'язана із частотою обертання колінчастого вала двигуна. Проблема полягає у тому, що автомобілі і автобуси постійно працюють у змінних швидкісному і навантажувальному режимах залежно від умов експлуатації. Ця обставина створює труднощі під час прийняття однозначних, обґрунтованих розрахункових даних для оцінки паливної ощадливості та параметрів елементів конструкції, наприклад, при виборі підшипників валів коробок переміни передач і редукторів тяжких мостів автомобілів чи автобусів, надійність яких є одним із факторів, що визначає їх експлуатаційну ефективність.

Аналіз відомих досліджень та публікацій

Розрахунок агрегатів трансмісії та прогнозування їх ресурсу робиться із врахуванням показників їх швидкісного режиму, із яким функціонально пов'язані енергетичні і силові параметри навантаження. Зокрема, для розрахунку довговічності підшипників необхідно мати однозначні значення еквівалентних частот їх обертання [3, 4, 5, 6], якими замінюється весь діапазон зміни частот обертання валів трансмісії, пов'язаний із швидкісним режимом роботи двигуна. Однак, обґрунтовані статистичні дані по еквівалентних частотах обертання стосовно автомобілів і автобусів певного типу залежно від умов їх експлуатації в опублікованих на сьогодні наукових публікаціях практично відсутні. Наприклад, еквівалентні частоти обертання пропонується визначати за середньою швидкістю руху автомобіля, значення якої дається у широких межах [3, 4, 6]. Через це визначення еквівалентних частот обертання валів агрегатів за середньою швидкістю руху автомобіля може призвести до істотних похибок результатів.

Мета і постановка задачі

Метою дослідження є визначення статистичних закономірностей швидкісного режиму двигунів автобусів в міських умовах експлуатації на основі експериментального дослідження особливостей їх руху на міських маршрутах.

Розв'язання задачі

Для дослідження швидкісного режиму роботи двигунів було проведено випробування міських автобусів ЛАЗ-42021 (середньої пасажиромісткості) і ЛіАЗ-5256 (великої пасажиромісткості). Відповідні параметри автобусів, детальні умови випробувань і особливості випробувальних маршрутів відображено у роботі [7].

Опрацьовані методом математичної статистики результати досліджень у вигляді інтегральних функцій розподілу частоти обертання колінчастого вала двигунів за часом $F(n_d)$ показано на рис. 1 [7]. За характером вказаних залежностей можна оцінювати швидкісний режим двигуна у двох аспектах: 1) робочий – з урахуванням власне тривалості робочого режиму, пов'язаного тільки із рухом автобуса (без урахування часу роботи при марному ході); 2) повної тривалості роботи двигуна із врахуванням часу роботи при марному ході.

У першому випадку ми враховуємо період роботи двигуна в русі автобуса, під час якого мають місце експлуатаційні навантаження власне двигуна та агрегатів трансмісії. Для цього ми статистично оцінюємо так званий робочий швидкісний режим двигуна при навантаженні, без врахування часу його роботи при марному ході, оскільки у цьому випадку агрегати трансмісії не функціонують і навантаження в них відсутні.

У другому випадку ми враховуємо повний час роботи двигуна із урахуванням тривалості роботи при марному ході. Врахування повного часу роботи двигуна необхідне, наприклад, для оцінки паливної ощадливості та витрат потужності для привода допоміжних агрегатів.

Для розрахунку на міцність деталей двигуна і агрегатів трансмісії та прогнозування їх ресурсу доцільно мати значення еквівалентної частоти (середнє арифметичне) обертання колінчастого вала двигуна. У першому випадку з урахуванням власне тривалості робочого ре-

жиму, пов'язаного тільки із рухом автобуса, робоча еквівалентна частота обертання колінчастого вала двигуна визначається із залежності [7]:

$$n_{ep} = \frac{1}{1 - \Delta t_x} \int_{n_{дх}}^{n_{д\max}} [F(n_d)] dn, \quad (3)$$

де $F(n_d)$ – інтегральна функція розподілу частоти обертання за часом (рис. 1) [7];

Δt_x – відносний час роботи двигуна при марному ході;

$n_{дх}$ – мінімальне значення частоти обертання колінчастого вала двигуна (при марному ході);

$n_{д\max}$ – максимальне значення частоти обертання колінчастого вала двигуна.

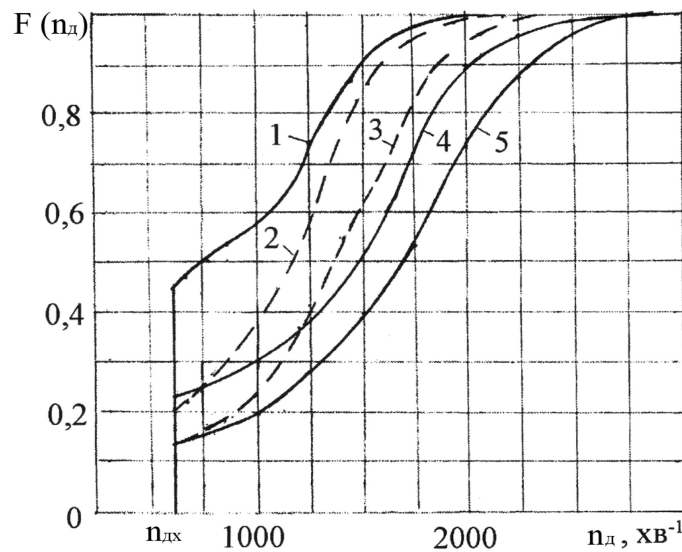


Рис. 1. Розподіл частот обертання колінчастих валів двигунів автобусів за часом:
1 – ЛіАЗ-5256 (місто); 2 – ЛАЗ-42021 (місто); 3 – ЛАЗ-42021 (за містом);
4 – ЛАЗ-695Н (місто); 5 – ЛАЗ-695Н (за містом)

У другому випадку для повного часу роботи двигуна із урахуванням тривалості роботи при марному ході еквівалентна частота обертання колінчастого вала двигуна [7]:

$$n_e = n_{дх} \Delta t_x + \int_{n_{дх}}^{n_{д\max}} [F(n_d)] dn, \quad (4)$$

За відсутності аналітичного виразу інтегральної функції розподілу частоти обертання колінчастого вала двигуна за часом $F(n_d)$ розрахунки еквівалентних частот обертання n_{ep} і n_e (середнє арифметичне зважене) можна здійснити методом графічного інтегрування, розбивши швидкісний діапазон роботи двигуна (рис. 1) на низку елементарних інтервалів Δn , за формулами:

$$n_{ep} = \frac{1}{1 - \Delta t_x} \sum_{i=1}^k n_i \Delta t_i; \quad (5)$$

$$n_e = n_{дх} \Delta t_x + \sum_{i=1}^k n_i \Delta t_i, \quad (6)$$

де k – кількість елементарних інтервалів у швидкісному діапазоні $n_{дх} - n_{дmax}$;

n_i – частота обертання колінчастого вала двигуна в середині даного елементарного інтервалу;

Δt_i – відносний час роботи двигуна в даному елементарному інтервалі.

Результати розрахунків за формулами (5 і 6) згідно з отриманими під час випробувань результатами, наведено у [7].

Як уже зазначалося в роботі [7], співвідношення n_{ep} / n_T , (де n_T – частота обертання колінчастого вала двигуна при максимальному значенні крутного моменту) двигуна в ідентичних умовах руху знаходиться у певних межах практично незалежно від моделі автобуса, двигуна і типу коробки передач. Причому вже при кількості випробувальних заїздів 2 і більше отримані результати характеризуються практично однаковими значеннями – найбільша різниця не перевищує 1,0% [7].

Найменші значення середніх швидкостей руху і еквівалентних частот обертання колінчастого вала двигунів зафіксовано у русі на міських маршрутах [7]. Це можна пояснити тим, що на міських маршрутах, для яких характерні незначні відстані між службовими зупинками та часті зупинки, спричинені умовами руху і засобами його регулювання, рух автобуса на маршруті складається із послідовного ряду короткочасних циклів: розгін – сталий рух – сповільнення – зупинення і стоянка. У русі на міських маршрутах тривалість сталого руху значно зменшується за рахунок частих фаз розгону, сповільнення та стоянок. Сказане ілюструється рис. 2, на якому наведено приклад осцилограми за результатами дослідження швидкісного режиму руху автобуса ЛАЗ-42021 на міському маршруті.

Виходячи із наведеного, необхідне для розрахунків агрегатів трансмісії автобусів значення еквівалентної (середньої) частоти обертання колінчастого вала двигуна n_{ep} пропонується [7] визначати із співвідношення:

$$n_{ep} = a n_T, \quad (7)$$

де a – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації.

Згідно з експериментальними даними [7] у русі на міських маршрутах $a = (0,81 - 0,83)$.

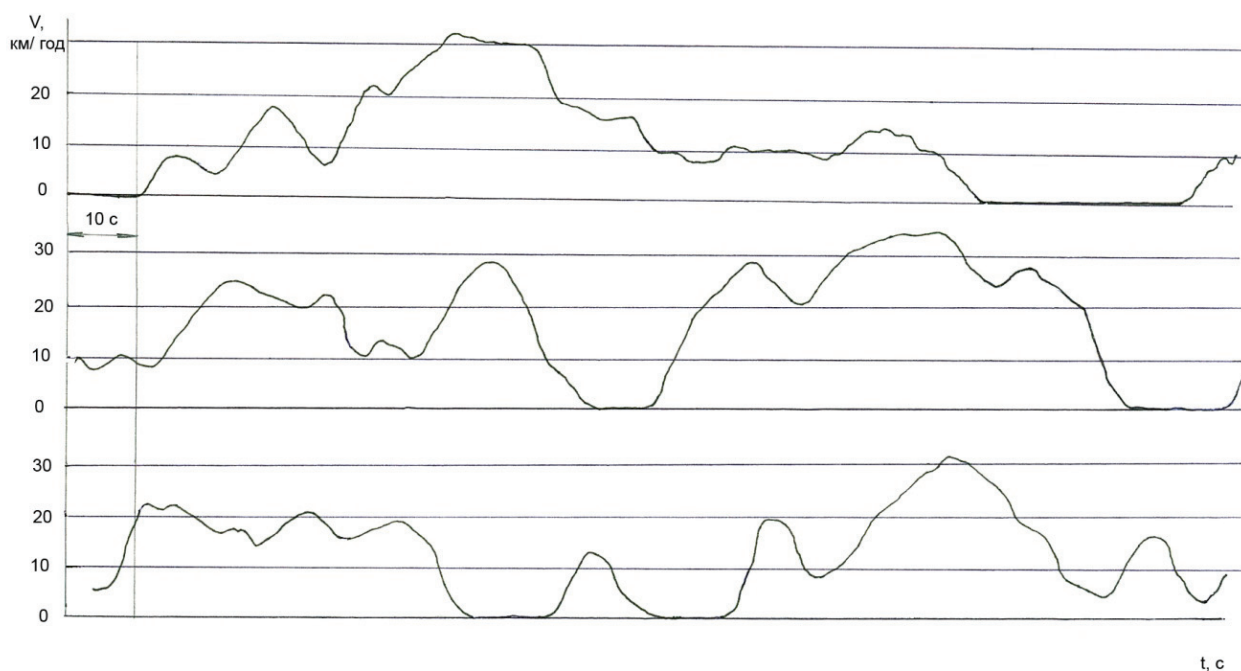


Рис. 2. Швидкісний режим руху автобуса ЛАЗ-42021 на міському маршруті

Значення інтегральних функцій розподілу частот обертання колінчастих валів двигунів за часом $F(n_d)$ у русі автобусів на міських маршрутах показано на рис. 3 і 4. На рис. 3 вказано функціональні залежності, відображені для кожного заїзду, а на рис. 4 – середні значення для кожного парного заїзду в прямому і зворотному напрямках маршруту.

При обробці експериментальних даних встановлено, що при кількості заїздів 8–10 густина розподілу (ймовірність тривалості за часом) обертів колінчастого вала двигунів автобусів узгоджується із нормальним розподілом (рис. 5). При цьому функція густини розподілу, в діапазоні частот обертання ($n_{дх} - n_{дmax}$), відповідає залежності [8, 9]:

$$f(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(n_i - n_{ep})^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

а дисперсія розподілу визначається за формулою

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - n_{ep})^2 \Delta t_i. \quad (9)$$

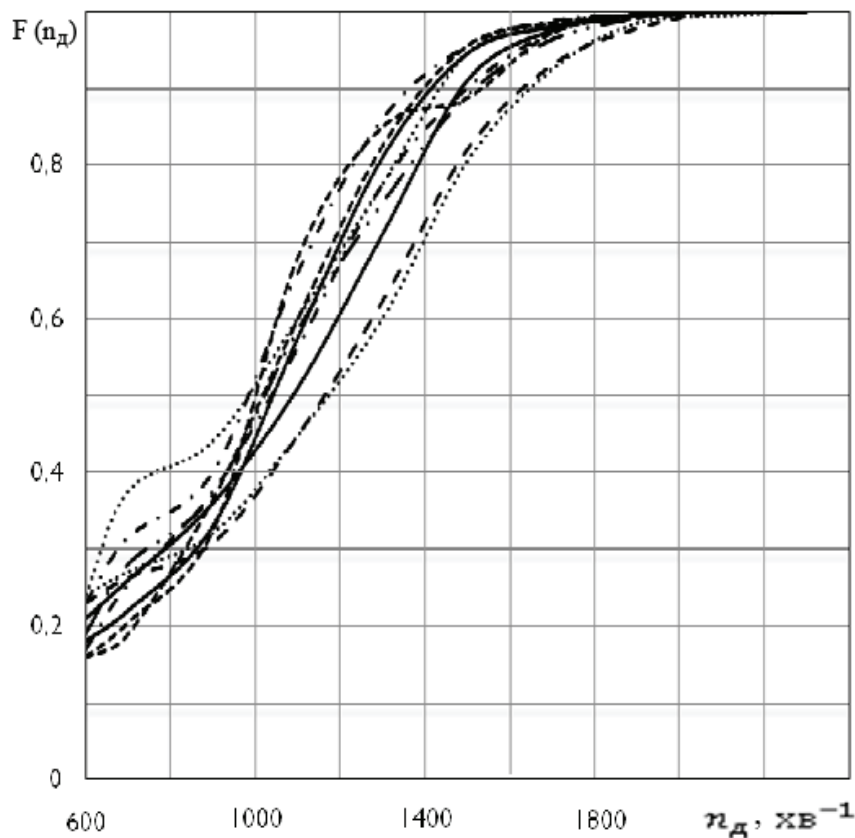


Рис. 3. Реалізація на випробувальних заїздах інтегральної функції розподілу частот обертання колінчастого вала двигуна за часом автобуса ЛАЗ-42021

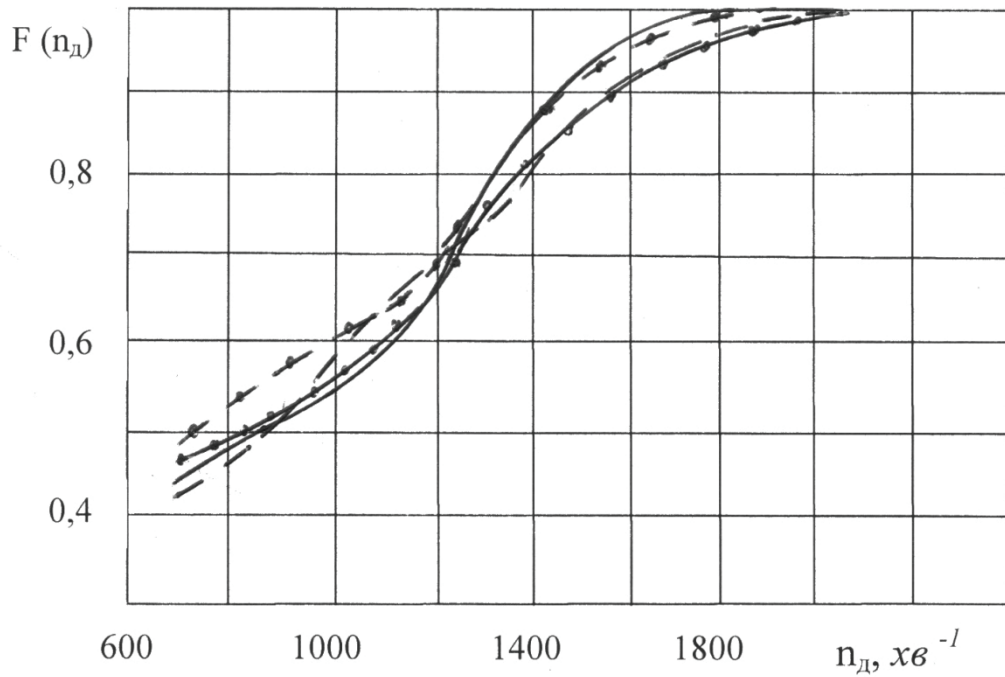


Рис. 4. Реалізація на випробувальних заїздах інтегральної функції розподілу частот обертання колінчастого вала двигуна за часом автобуса ЛіАЗ-5256

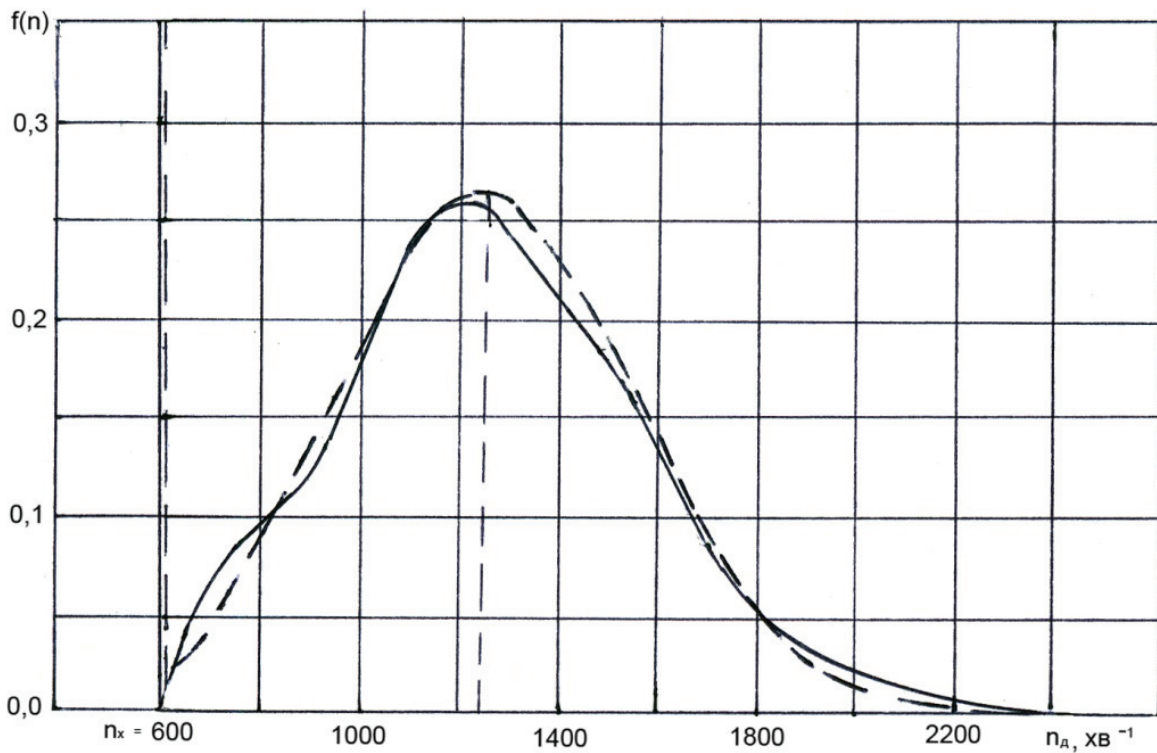


Рис. 5. Функція густини розподілу частоти обертання колінчастого вала двигуна автобуса ЛАЗ-42021 за часом у русі на міських маршрутах (суцільна крива – за експериментальними даними; пунктирна – теоретичний розподіл)

Згідно з отриманими експериментальними даними, в міських умовах експлуатації реальні значення максимальної частоти обертання колінчастих валів двигунів автобусів не перевищують $(0,85 - 0,9) n_{\text{дmax}}$.

Висновки

1. Проведено дослідження швидкісного режиму двигунів автобусів в міських умовах експлуатації, в результаті чого отримано відповідні статистичні дані, які можна використувати при подальших дослідженнях показників роботи автобусів, що залежать від їх швидкісного режиму експлуатації.

2. Згідно з отриманими експериментальними даними статистичний розподіл (ймовірність тривалості за часом) обертів колінчастого вала двигунів автобусів в міських умовах експлуатації узгоджується із нормальним розподілом.

3. В міських умовах експлуатації найбільше значення частоти обертання колінчастого вала двигунів автобусів не досягає максимального значення частоти обертання вала згідно з технічною характеристикою двигуна і не перевищує $(0,85 - 0,9) n_{\text{дmax}}$.

Список літератури

1. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
2. Литвинов А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
3. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия / А.И. Гришкевич, В.А. Вавуло, А.В. Карпов и др.; под ред. А.И. Гришкевича. – Минск: Выш. шк., 1985. – 240 с.
4. Бухарин Н.А. Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность агрегатов автомобиля / Н.А. Бухарин, В.С. Прозоров, М.М. Щукин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. Машиностроение, 1973. – 540 с.
5. Лукин П.П. Конструирование и расчет автомобиля / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
6. Проектирование трансмиссий автомобилей / А.И. Гришкевич, Б.У. Бусел, Г.Ф. Бутусов и др. / под ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
7. Немий С.В. Дослідження швидкісного режиму двигунів автобусів в умовах експлуатації / С.В. Немий // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2007. – № 588. – С. 68–72.
8. Гнеденко Б.В. Элементарное введение в теорию вероятностей / Б.В. Гнеденко, А.Я. Хинчин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 160 с.
9. Чистяков В. П. Курс теории вероятностей: учеб. / В.П. Чистяков. – 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 240 с.

Рецензент: к.т.н., доц. М.А. Мастепан, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 16.05.11
© Немий С.В., Данило О.Я., 2011