

УДК 629.33:519.87

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ У ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

С.Ю. Тищенко, асп.,

А.В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. наук,

В.В. Аулін, проф., д-р. техн. наук,

І.В. Жилова, асп.,

Д.В. Папуша, ст. гр. ТТ-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Прогнозування динаміки просування легкових автомобілів, на основі обраної для проведення цих досліджень марки Renault на території України дозволяє провести повну оцінку потенційного потоку усунення відмов та несправностей, а також відновлення працездатності транспортних засобів (ТЗ). При прогнозуванні враховуються параметри експлуатаційної інтенсивності для ТЗ, а також показники, що характеризують їхню працездатність, що дозволяє визначити потребу СТО у вузлах, агрегатах та деталях, для нових або вже існуючих підприємств. Слід зазначити, що необхідно прийняти до уваги і фактори зовнішнього середовища, пов'язані з економічною обстановкою, перспективністю її зміни та потенціалу системи постачання запасних частин (ЗЧ) у реаліях ринку автосервісних послуг. Окрема увага має приділятися структурним особливостям споживчих послуг, спрямованих на відновлення та підтримку транспортних засобів у технічно справному (працездатному) з урахуванням конкурентної обстановки, що склалася, і у відповідність до законодавчих баз. Одночасно під час вирішення завдань прогнозування потреби у ЗЧ, ділову активність дилерських СТО і дистриб'юторських систем постачання ЗЧ у мережу СТО. Необхідно також враховувати оптимальну потребу у ЗЧ лише на рівні одиничного автомобіля, експлуатованого у конкретних умовах з варіативною інтенсивністю експлуатації.

З цією метою *на першому етапі* необхідне відпрацювання моделей та методик оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів для забезпечення заданого рівня їх працездатності з подальшим переходом на вирішення завдань *другого етапу*, що передбачає розробку методики прогнозування потреби в частинах для легкових автомобілів з урахуванням їх просування в районах ділової активності підприємства.

Відомо, що механізми теорії надійності, що є різними законами розподілу (функції класу Пойя другого порядку (F_2), нормальні, експоненційні закони розподілу, а також Вейбулла і гамма-розподілу та ін.) дозволяють описати несправності вузлів і агрегатів ТЗ, та їх напрацювання на відмову з метою вирішення наукових та практичних завдань у галузі технічної експлуатації автомобілів, у тому числі й завдань, орієнтованих на оптимізацію потреби в елементах легкових автомобілів для забезпечення заданого рівня їхньої працездатності.

Варто також зазначити, що ряд несправностей описуються за допомогою моделей розподілу напрацювань на відмову слабкої ланки. Такі несправності викликають порушення працездатного стану всієї системи загалом. У таких моделях розглядається час досягнення граничного стану системи (автомобіля) як розподілення відповідних мінімальних значень напрацювань окремих елементів (агрегатів, вузлів тощо). При цьому закономірності розподілу напрацювань на відмову аналізованих елементів досить добре описується

розподілом Вейбулла-Гнеденко.

Разом з тим необхідно мати на увазі, що при відповідних значеннях параметрів розподілу Вейбулла-Гнеденко аналітично, шляхом відповідних перетворень, можна виразити через інші закономірності розподілу випадкових величин, а саме через експоненційний, нормальний, логарифмічно-нормальний, Гамма-розподіл і т.д. Враховуючи, що Гамма-розподіл займає важливе місце в теорії надійності і широко застосовується при описі одновіршинних несиметричних розподілів напрацювань до появи подій, за умови, що вони незалежні, то для вирішення завдань оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів. З метою забезпечення заданого рівня їх працездатності, можна успішно скористатися даним розподілом, який добре описує розподіл напрацювань елементів на відмови, потоки вимог на обслуговування та ремонт, а також забезпечує отримання оцінок попиту на ЗЧ у процесі експлуатації легкових автомобілей.

Застосування Гамма-розподілів для опису закономірностей зміни ймовірнісних характеристик, надійності елементів легкових автомобілів (диференціальних та інтегральних функцій безвідмовності та виникнення відмов) може широко використовуватися в завданнях матеріально-технічного забезпечення дистриб'юторськими системами дилерських автосервісних підприємств при виробництві ТО.

Виконання перетворення параметрів розподілу Вейбулла через параметри Гамма-розподілу, використовуються в подальшому для вирішення зазначеної задачі оптимізації потреби в елементах легкових автомобілів в процесі їх експлуатації.

При вирішуванні практичних завдань виявлення потоку витрат ЗЧ (елементів легкових автомобілів) і оптимізації їх запасів в системах матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) можливий перехід через взаємозв'язок параметрів від опису напрацювань на відмови елементів у вигляді переходу від розподілу Вейбула до Гамма-розподілу. В той же час необхідно мати на увазі, що Гамма-розподіл є частковим випадком розподіла Ерланга k -го порядку з диференційною функцією розподілу.

При виявленні та прогнозуванні потоків відмов розглядається простий процес відновлення - вимога рівності закономірності розподілів ймовірностей на першу та наступні відмови.

Тоді, згідно для провідної функції потоку відмов елементів легкових автомобілів на інтервалі пробігу L можна записати:

$$\Omega_n(L) = \sum_{n=1}^{\infty} [1 - \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda L)^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda L)] , \quad (1)$$

де $\eta = n$ (приймає цілі значення).

У функції необхідно врахувати верхню межу підсумовування інтегральної функції розподілу $F(L)$ напрацювань відмови. Маючи середній термін служби елемента T у роках (та значення середніх річних пробігів ТЗ \bar{L}_r , можна попередньо визначити верхню межу підсумовування за умови:

$$N = \frac{\bar{L}_r \cdot T}{L} , \quad (2)$$

де \bar{L}_r - математичне очікування річного пробігу легкових автомобілів, яке для подальшої оцінки діапазону нижніх та верхніх довірчих межнабуває значення:

$$\bar{L}_r^* = \begin{cases} \bar{L}_{r(y)}^H \\ \bar{L}_r \\ \bar{L}_{r(y)}^B \end{cases}, \quad (3)$$

де $\bar{L}_{r(y)}^H$ - нижня довірча межа середнього річного пробігу для заданої довірчої ймовірності y ;

\bar{L}_r - оцінка (математичне очікування) середньорічного пробігу;

$\bar{L}_{r(y)}^B$ - верхня довірча межа середнього річного пробігу для заданої довірчої ймовірності y

Значення провідної функції потоку відмов (тобто середня кількість відмов на пробігу L з урахуванням заданих ймовірностей a відсутності простоїв через брак запасних частин дозволяє оцінити необхідні норми запасу запасних частин B_a , яке визначається за умови:

$$\alpha = \text{вер} (m \leq B_a) \quad (4)$$

де m - число елементів, що відмовили даного типу, що визначається за аналізований період (або пробіг), m приймає значення $\Omega_\eta(L)$.

Для норми витрати запасних частин випадкове напрацювання елемента до повної витрати визначається за умови:

$$L_\Sigma = \sum_{i=1}^{B_{a+1}} L_i \quad (5)$$

При цьому математичне очікування L_Σ та середнє квадратичне відхилення σ_Σ напрацювання визначається з виразів виду:

$$\begin{cases} \bar{L}_\Sigma = (B_{a+1}) * \bar{L} \\ \sigma_\Sigma = (B_{a+1}) * \sigma^2(L) \end{cases} \quad (6)$$

Ймовірність q простою легкових автомобілів може бути визначена на основі використання нормованої функції розподілу F_0 , тобто.

$$q = F_0 * \left(\frac{L_\Sigma^* - \bar{L}_\Sigma}{\sigma_\Sigma} \right) = F_0(u_q) \quad (7)$$

де L_Σ^* - довільна величина напрацювання до повного витрати елемента (приймає значення $L_\Sigma = \sum_{i=1}^{B_{a+1}} L_i$);

u_q - квантиль нормального розподілу;

F_0 - нормована функція розподілу;

a - ймовірність відсутності простою легкових автомобілів через брак ЗЧ на першу вимогу.

$Q = 1 - a$ - ймовірність простою легкових автомобілів через відсутність ЗЧ при зверненні легкових автомобілів на відновлення його працездатності.

Після перетворень для B_a виступаючого в якості середнього запасу елемента легкових автомобілів, що розглядається, остаточно для B_a (норми витрати запасних частин) можна записати:

$$B_a = B_a(L) = \Omega_\eta(L) - 1 + 0,5u_\alpha^2 * V^2(L) + \sqrt{\Omega_\eta(L) * u_\alpha^2 * V^2(L) + 0,25u_\alpha^4 * V^4(L)} \quad (8)$$

Графічна ілюстрація зміни $B_a(L)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою, що задається, a представлена на рис. 1.

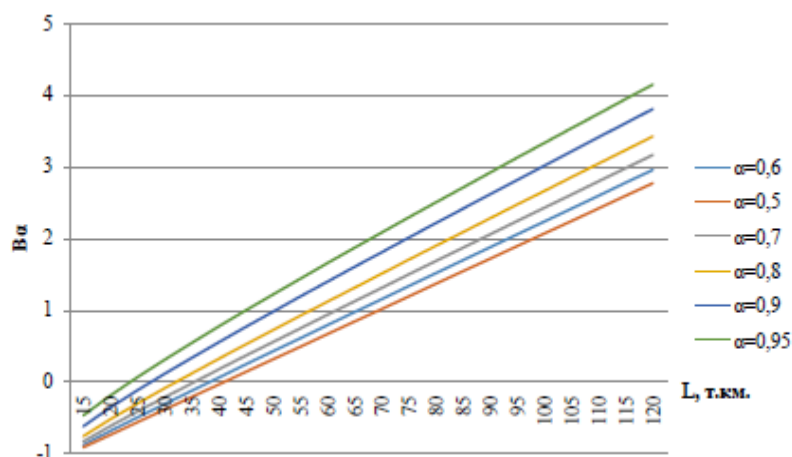


Рисунок 1 - Зміна $B_\alpha(L)$ залежно від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою α

На рисунку 2 в графічному вигляді представлено зміну загальної витрати запасних частин $W_\alpha(L_i)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою α легкових автомобілів.

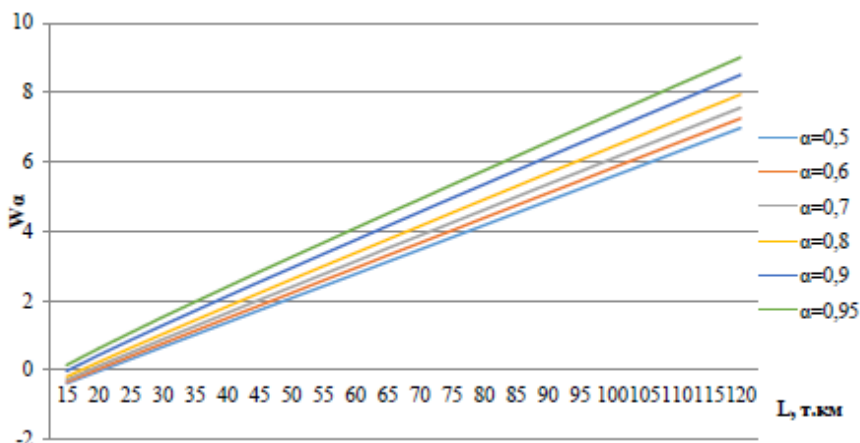


Рисунок 2 - Зміна загальної витрати запасних частин $W_\alpha(L_i)$ в залежності від зміни накопиченого пробігу L для різних значень ймовірності відсутності простою α легкових автомобілів

Норма витрати ЗЧ і витрати на них для розглянутих інтервалів пробігу $\Delta L = L_{i+1} - L_i$ з урахуванням заданих ймовірностей α відсутності простоїв АТС визначаються з виразів:

$$W_\alpha(\Delta L) = [B_\alpha(L_{i+1}) - B_\alpha(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_i^\alpha} \right], \quad (9)$$

$$S_\alpha(\Delta L) = \bar{S}_{з.ч.} * W_\alpha(\Delta L) = \bar{S}_{з.ч.} * \left\{ [B_\alpha(L_{i+1}) - B_\alpha(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_i^\alpha} \right] \right\} \quad (10)$$

Реалізація вище представленої моделі дозволяє підійти до розробки методики прогнозування потреби в частинах для легкових автомобілів з урахуванням їхнього просування в районах ділової активності.

Для приватних власників легкових автомобілів при вхідних параметрах, що відбивають середній час простою легкових автомобілів у ремонті, втрати клієнта протягом дня внаслідок простою легкових автомобілів у ремонті виявляються значення оптимальних ймовірностей α відсутності простоїв легкових автомобілів згідно з оптимізаційними функціями $\bar{S}_{\alpha пр.вл.}(\Delta L)$ загальних середніх втрат для дистриб'ютора та приватного власника.

Вирішення даної оптимізаційної задачі дозволяє, для розглянутого (або заданого)

інтервалу пробігу легкових автомобілів рівного ΔL , виявити оптимальне значення загальних витрат $W_{\alpha}(\Delta L) = [B_{\alpha}(L_{i+1}) - B_{\alpha}(L_i)] + \left[\frac{L_{i+1} - L_i}{L_{\alpha}^*} \right]$ елементів автомобілю. Враховуючи, що замовлення на ЗЧ зазвичай здійснюються помісячно, то в якості інтервалу пробігу легкових автомобілів ΔL , що розглядається, може виступати його місячний пробіг L міс.

Таким чином, практична реалізація поставлених завдань у цій роботі передбачає застосування надалі розроблених математичних моделей. Це дозволяє, на основі отримання, обробки та використання необхідної вихідної інформації, підійти до відпрацювання кінцевого завдання цього дослідження, спрямованого на визначення потенційних потужностей дистриб'юторських систем постачання ЗЧ для автосервісних виробництв, з урахуванням інтенсивності експлуатації легкових автомобілів та прогнозування їхнього просування у районах ділової активності дилерських мереж СТО.

Список використаних джерел

1. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. SHS Web of Conferences. 2019. Vol. 67. P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>
2. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)
3. Кульова Д.О., Магопець С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)
4. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.І. С. 261-269. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269)
5. Аулін В.В., Кульова Д.О., Варваров В.В. Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.І. С. 263-271. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271)
6. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.
7. Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. – 393 с.
8. Wei L., Zheng X., Li Y., Li X., Liu L. Research on the impact effect of multimodal transport on domestic and international dual circulation: Evidence from China's railway and water transport. PLoS ONE. 2025. Vol. 20, Issue 4. Article e0319982. P. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319982>
9. Zhang Z., Jin J., Li S., Han Z., Wu Z., Xu X., Li Y., Peng T. Research review and development trend analysis of grain multimodal transport with a special emphasis upon China. Agriculture. 2026. Vol. 16. Article 592. P. 1-35. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture16050592>
10. Uddin M. M., Huynh N. Routing model for multicommodity freight in an intermodal network under disruptions. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2016. No. 2548. P. 71–80. DOI: <https://doi.org/10.3141/2548-09>
11. Jayant, Arvind, Mohammed Azhar, and Priya Singh. "Interpretive structural modeling (ISM) approach: a state of the art literature review." Int. J. Res. Mech. Eng. Technol 5.1 (2015): 15-21. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012010>
12. United Nations Conference on a Convention on International Multimodal Transport : Final Act and Convention on International Multimodal Transport of Goods. – New York : United Nations, 1981. Vol. 1. 16 p.