

## ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОБУСІВ

© Форнальчик Є. Ю., Виджак М. А., 2017

**Викладено новий підхід у визначенні оптимальної (раціональної) періодичності технічного обслуговування та ремонту автобусів, який відрізняється від відомих тим, що враховується компромісний варіант – забезпечення високого рівня експлуатаційної надійності за помірних витрат на виконання ремонтно-обслуговувальних дій з використанням необхідного технологічного обладнання.**

**Ключові слова:** автобуси, технічне обслуговування, ремонт, автотранспортне підприємство, періодичність, витрати.

Y. Fornalchyk, M. Vydzhak

## ON THE OPTIMIZATION OF PERIODICITY TECHNICAL SERVICE OF BUSES

**It is presented a new approach of determining of the optimal (rational) frequency of maintenance and repair of buses, which are different from the known by that, that considered a compromise – providing of a high level of operational reliability at the reasonable expenses for realisation of the repair serving actions using the necessary technological equipment.**

**Key words:** buses, maintenance, repair, motor transport enterprise, frequency (periodicity), expenses.

**Формулювання проблеми та аналіз відомих досліджень і публікацій.** Природа втрати працездатності автомобілів, зокрема автобусів, загальновідома [1]. Відомо також, що моменти, у яких стаються ці втрати, як правило, не відомі, і тому інтервали між ними (часові чи пробігові) належать до випадкових величин. У результаті настання відмов не підлягають детермінованому прогнозуванню. Виконанням профілактичних планово-запобіжних технічних обслуговувань і ремонтів (ТО і Р) можна лише відтермінувати відмови з непрогнозованими моментами виникнення їх, які потребують аварійно-відновних чи аварійно-запобіжних операцій [1]. Перелічені профілактичні обслуговування, ремонти та аварійно-відновні операції розглядають тут як ремонтно-обслуговувальні дії (РОД), спрямовані на забезпечення і відновлення працездатного чи справного станів автобусів.

Існуючі пробігові нормативи до виконання відповідних ТО і Р у сучасних умовах не відображають справжньої потреби, так само, як використання відомих методик визначення періодичностей обслуговувань і ремонтів [1]. Навіть застосовуючи математичний апарат теорій імовірностей і масового обслуговування, не можна адекватно описати та відобразити фактичну потребу РОД, зважаючи на: а) відповідні стохастичні розподіли пробігових (часових) випадкових величин; б) перебування певної множини автобусів у різні моменти чи інтервали часу у різних станах – працездатному, непрацездатному.

Чинна система ТО і Р автобусів має відповідну виробничо-технічну базу (ВТБ) в автотранспортному підприємстві (АТП) та виробничників, призначених для виконання планово-запобіжних операцій. Схему реалізації її наведено на рис. 1. На ній наведено відповідні переліки різновидів ТО і Р з операціями, виконання яких повинно забезпечувати справність і працездатність транспортних засобів якісно і повною мірою [2]. Однак, на практиці нормативи і вимоги цієї системи не витримуються, в результаті чого знижуються показники експлуатаційної надійності автобусів, зростають збитки АТП від недовикористання їх на маршрутах [3–7].

Як показали результати досліджень [8, 9], показники експлуатаційної надійності автобусів, які використовували на міських маршрутах, на 15–20 % нижчі від нормативних. Часті відмови їх на лінії призводять до порушення графіків руху, незадоволення потреб потенційних пасажирів, наносять збитки АТП від недовикористання автобусів (зниження виторгу за реалізацію квитків). Крім цього, як встановлено, ВТБ мають проблеми з кількістю та якістю виконання операцій ТО і Р через зношеність ремонтно-технічного обладнання, практичну відсутність діагностичного обладнання, а також через невисокий рівень кваліфікації фахівців у ВТБ. У зв'язку з наведеним, задачу оптимізації періодичностей виконання ТО і Р потрібно розв'язувати з урахуванням:

- стохастичності часових (пробігових) інтервалів настання відмов автобусів на лінії;
- затрат, пов'язаних з виконанням профілактичних (планових) операцій ТО і Р;
- затрат на виконання аварійних ремонтно-відновних робіт під час усунення відмов на лінії;
- втрат, пов'язаних з перебуванням автобусів у стані з прихованими дефектами, які не усунули (за відсутності технічної діагностики), під час ТО і Р;
- втрат, зокрема, упродовж виконання операцій ТО і Р).

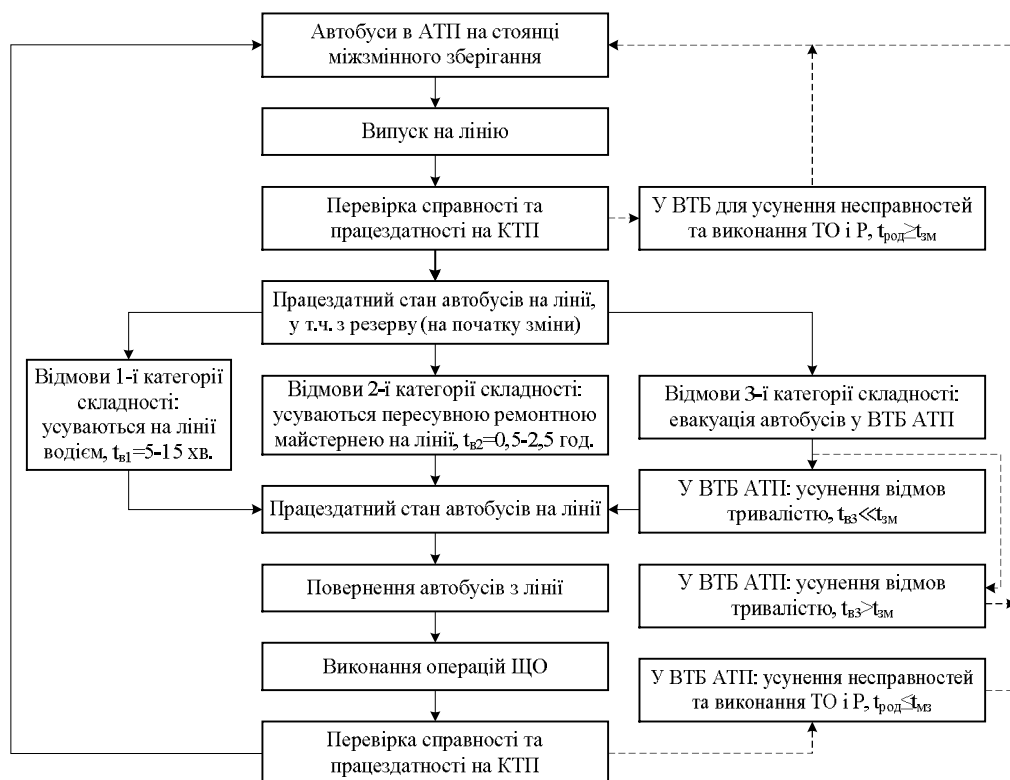


Рис. 1. Схема реалізації системи ТО і Р автобусів

**Основний матеріал.** Особливість її розв'язування полягає в урахуванні середніх значень тривалостей виконання операцій, а також у регламентованому режимі роботи ВТБ. Визначальним критерієм оптимальності у знаходженні раціональної періодичності виконання профілактичних ТО і Р потрібно вважати комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності  $K_g$ , або коефіцієнт оперативної готовності  $K_{og}$ . Їх значення повинні порівнюватися з середніми доходами (прибутками)  $\Pi$  та такими самими затратами (вкладеннями)  $Z$ , які повинні виділяти АТП для забезпечення росту  $K_g$  та  $K_{og}$  (безвідмовності автобусів на лінії).

Розглянемо методичний підхід у послідовності розв'язування цієї задачі. Зобразимо (рис. 2) переходи автобусів з працездатного стану у непрацездатний і у зворотному напрямі з використанням системи ТО і Р. Початковим станом досліджуваної системи у довільний момент часу  $\Theta_i$  із загальної тривалості функціонування системи  $t$  ( $\Theta_i \in t$ ) буде такий  $SO_{n,c}(\Theta_i)$ , у якому усі автобуси працездатні ( $P_{o,p}=1$ ) і ВТБ АТП не має замовлень на виконання планово-запобіжних (ПЗО) та аварійно-відновних (АВО) операцій ремонтно-обслуговувальних дій ( $t_{род}$ ). Тривалість перебування автобусів у цьому стані може бути більша за тривалість зміни роботи ВТБ

( $\Delta\theta_i = t_{n.c} > t_{3M}$ ). В інтервалі  $\Theta_i + \Delta\Theta = \Theta_j \in t$  система може перейти у стан  $S1_{n.c}$ , який характеризується безвідмовністю автобусів ( $P_{\sigma.p} = 1$ ) за умови, що тривалість перебування їх у цьому стані дорівнюватиме тривалості зміни роботи ВТБ ( $\Theta_j = t = t_{3M}$ ). У такому разі доцільно виконувати профілактичні РОД для подальшого забезпечення працездатності, і частина системи (відповідна кількість автобусів) переходить із стану  $S0_{n.c}(\Theta_i)$  у стан  $S3_{n.РОД}$  з тривалістю перебування у ньому, що не перевищує міжзмінну  $t_{M3}$  ( $t_{РОД} \leq t_{M3}$ ). Сюди ж потрапляють автобуси, які відмовляли наприкінці зміни, і їх відправляли у ВТБ для усунення відмов та виконання (за потреби) планових РОД. Тобто відбувається перехід системи із стану  $S1_{(n.c)}$  у стан  $S3_{n.РОД}$ .

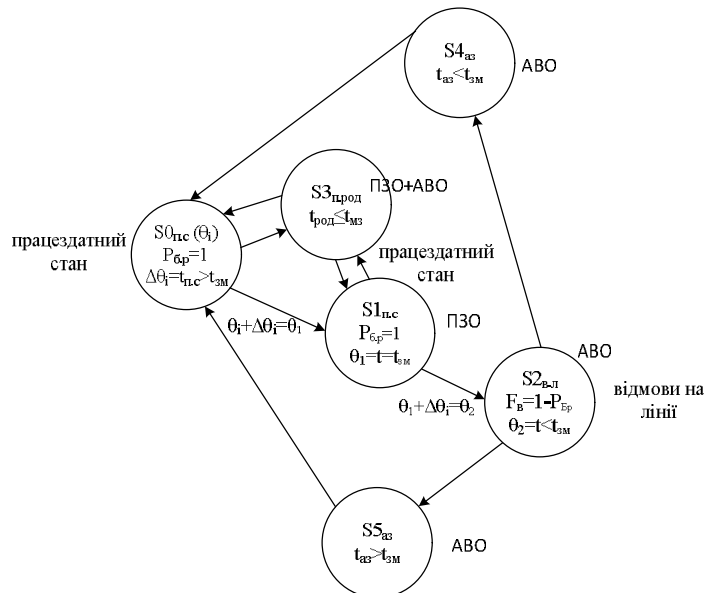


Рис. 2. Граф можливих переходів автобусів з початкового (працездатного) стану  $S0_{n.c}(\theta_1)$  до інших непрацездатних  $S1_{n.c}(\theta_1) - S5_{a.в}$

В інший момент часу  $\Theta_i$ , наприклад,  $\Theta_1 + \Delta\theta_1 = \Theta_2$  система може перейти у стан  $S2_{в.л}$ , який характеризуватиме втрату працездатності автобусів на лінії. Імовірність відмов визначатиметься через різницю

$$F_{\sigma} = 1 - P_{\sigma.p}(\theta_2 = t \text{ p } t_{3M}). \quad (1)$$

Відмови на лінії можуть бути трьох категорій, які усуваються: безпосередньо на лінії водієм без використання складної конструкції інструментів (приладдя); водієм разом з відповідним фахівцем з викликані на місце відмови пересувної майстерні (відмови середньої складності і трудомісткості); у ВТБ АТП після відбуксирування автобуса з лінії (складні відмови значної трудомісткості усунення). Перша категорія відмов автобусів на лінії тут не розглядається, оскільки тривалість усунення її водієм може становити 5–15 хвилин. Усунення аварійних відмов 2-ї категорії вимагає більше часу, однак менше, ніж тривалість зміни роботи ВТБ, ( $t_{a.в} < t_{3M}$ ). Отже, система переходить із стану  $S2_{в.л}$ , який характеризуватиме умовне вилучення автобусів з перевізного процесу у стан  $S4_{a.в}$ . Умовне, оскільки вони знаходяться (їх ремонтують) на лінії, не виконуючи перевезень.

У разі, якщо стаються складні аварійні відмови на лінії, які потребують більшого, ніж час зміни ВТБ, ( $t_{a.в} > t_{3M}$ ), система із стану  $S2_{в.л}$  переходить у стан  $S5_{a.в}$ . Після виконання відповідних АВО системи із станів  $S5_{a.в}$  та  $S4_{a.в}$  переходять у первинний початковий працездатний стан  $S0_{n.c}$ .

Усі наведені переходи системи забезпечення працездатного стану автобусів “прив’язані” до змінної, чи міжзмінної, тривалостей роботи ВТБ АТП  $t_{3M}(t_{M3})$ , які є постійними величинами. Моменти  $\Theta_i \in t$  ж переходів упродовж змінної тривалості роботи автобусів на лінії розглядають як випадкові величини, такими є і тривалості виконання ПЗО та АВО.

Розглянемо процес переходу системи з працездатного у непрацездатний стану довільні моменти часу  $\Theta_i$  як випадковий процес  $x(t)$ . Для нього характерні функції розподілу тривалості

відмов автобусів  $F(t)$  та густини розподілу тривалості безвідмовної роботи,  $f(t)=1-F(t)=F'(t)$ . Окремим дослідженням [9] знайдено експоненційний закон розподілу інтервалів між відмовами міських автобусів з технічних причин з функцією густини розподілу відмов:

$$f(t) = P_{б.р} = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов автобусів.

У цьому разі математичне сподівання тривалості виконання планово-запобіжних операцій ТО і Р (стани  $S1$  і  $S3$ ) можна визначати за формулою [10]

$$M(t_{n.3}) = \frac{1}{\bar{F}(\tau)} \int_0^{\tau} t dF(t) = e^{\lambda \tau} \int_0^{\tau} t d(1 - e^{-\lambda t}) = \frac{1}{\lambda} (e^{\lambda \tau} - 1) - \tau \text{ або}$$

$$\lambda M(t_{n.3}) = B(\lambda \tau);$$

$$B(t) = (e^t - 1) - t, \quad (3)$$

де  $\bar{F}(\tau)$  – функція розподілу тривалості безвідмовної роботи системи до моменту  $\tau$  виконання операцій ТО і Р;  $t$  – поточне значення часу роботи системи;  $\lambda$  – інтенсивність відмов автобусів в інтервалі  $(0 - \tau) \in t$ .

Крім цього, важливими параметрами, які характеризуватимуть переходи системи із стану  $S2$  у стани  $S4$ ,  $S5$ , будуть: середня тривалість  $M(t_{a.6})$  виконання аварійно-відновних операцій ТО і Р; середня тривалість між відмовами автобусів (математичне сподівання тривалості безвідмовної роботи)  $M(t_6)$ ; оперативна тривалість роботи ВТБ, необхідна для виконання ПЗО та АВО,  $z \in t_{zu}, t_{mz}$ .

Коефіцієнт готовності  $K_z$  визначають через відношення стохастичної тривалості перебування автобусів у працездатному стані на лінії  $M(t_{np})$  до суми її зі середніми тривалостями виконання ПЗО  $M(t_{n.3})$  та АВО  $M(t_{a.6})$ :

$$K_z = \frac{M(t_{np})}{M(t_{np}) + M(t_{n.3}) + M(t_{a.6})}, \quad (4)$$

де літера  $M$  вказує на математичні сподівання цих тривалостей.

Оскільки процес використання автобусів на лінії відбувається одночасно з функціонуванням ВТБ АТП, у якій виконуються ПЗО ТО і Р, у випадкові моменти часу  $\theta_i$  можуть надходити замовлення на виконання АЗО, то коефіцієнт оперативної готовності автобусів як імовірність перебування їх у працездатному стані ( $P_{б.р}$ ) визначиться через співвідношення або ж добуток:

$$K_{oz} = \frac{M(t_{n.3})}{M(t_{n.3}) + M[t_{n.3}] + M[t_{a.6}]}; \text{ або } K_{oz} = K_z \cdot P_{б.р}, \quad (5, 6)$$

де  $M[t_{n.3}]M[t_{a.6}]$  – нормативи тривалостей планово-запобіжних та аварійно-відновних операцій для відповідних однакових агрегатів автобусів.

Перебування автобусів у ВТБ з причин виконання операцій ТО і Р (зокрема аварійних) пов'язано з відповідними витратами (затратами) на: виконання планово-запобіжних операцій,  $C_{nz}$ ; виконання АВО та супутніх планових відповідних робіт,  $C_{a.6}$ ; перебування автобуса у стані прихованих відмов (через відсутність засобів технічної діагностики) під час виконання ТО і Р, які можуть невдовзі проявитися на лінії,  $C_n$ . Перелічене означає втрати для їх власників (АТП), по іншому, від'ємний прибуток,  $C_o$ . У зв'язку з наведеним до задачі з визначення оптимальної періодичності виконання операцій ТО і Р автобусів потрібно увести ці економічні показники й розв'язувати її з урахуванням можливих (імовірнісних) працездатного чи непрацездатного станів перебування їх на лінії. Перший стан зумовлює отримання власником автобусів доходів (прибутків)  $\Pi$ , другий – відповідних витрат (затрат)  $\mathcal{Z}$ , пов'язаних з виконанням ПЗО та АВО. Ці показники потрібно визначати зведеними до одиниці тривалості перебування автобусів у працездатному стані на лінії та до тривалості робочого дня ВТБ АТП, упродовж якого виконуються названі операції:

$$\Pi = \frac{M\Pi}{M(t_{np})}; \mathcal{Z} = \frac{M\mathcal{Z}}{M(t_{n.3}) + M(t_{a.6})} = \frac{C_{n.3} + C_{a.6} + C_n}{M(t_{n.3}) + M(t_{a.6})}, \quad (7, 8)$$

де  $MП, MЗ$  – математичні сподівання умовних доходів ВТБ АТП за робочий день та затрат, пов'язаних з виконанням ПЗО та АВО.

Вартість виконання планово-запобіжних операцій ТО і Р  $C_{n.з}$  можна визначити через відповідні показники. Середня сумарна (за парком робочих автобусів,  $N$ ) та зведена до одного робочого дня АТП –  $D_p$  (перебування автобусів на маршрутах) вартості:

$$C_{n.з} = \left( \sum_{i=1}^N C_{n.з.i} \right) / N; \overline{C_{n.з}} = \overline{C_{n.з}} / D_p. \quad (9,10)$$

Величину ж  $\overline{C_{n.з}}$  – з урахуванням вартості середньої сумарної трудомісткості операцій ТО і Р

$$\overline{t_{mo,p}} = \left( \sum_{i=1}^N \tau_{mo,pi} \right) / N, \quad (11)$$

де  $\tau_{mo,pi}$  – трудомісткості операцій окремих ТО і Р.

Вартості  $C_{a.в}$  та  $C_{п}$  визначають за аналогічною методикою.

Оптимізувати періодичність ТО і Р автобусів з урахуванням затрат на реалізацію ПЗО та АВО і доходів АТП потрібно на основі виробничих взаємовідносин між ВТБ АТП та планово-економічною службою АТП. При цьому враховуватимуться економічні ризики від недовантаження ВТБ, у яку для підвищення якості та своєчасності виконання РОД підприємство повинно вкладати відповідні кошти, та недоотримання доходів АТП (якщо воно не робить таких вкладень) через зниження експлуатаційної надійності автобусів. Розв'язання цієї важливої для обох сторін задачі можливе з використанням математичного апарату теорії ігор, зокрема для розглядуваного матеріалу – парної гри (ВТБ з планово-економічною службою автобусного АТП).

**Висновки.** Підвищувати ефективність використання автобусів на маршрутах потрібно у взаємозв'язку між ними, оскільки відомо, що забезпечення високого рівня готовності мінімізує збитки від недовикористання їх з технічних причин та збільшує доходи їх власників. Цього можна досягти вдосконаленням системи ТО і Р не лише матеріальними та фінансовими засобами (що у сучасному економічному стані галузі практично неможливо), але й оптимізацією періодичностей виконання планово-запобіжних та аварійно-відновних операцій. При цьому з використанням сформульованого вище критерію – максимум рівня готовності автобусів (додаткові затрати) і, як результат, ріст доходів автотранспортного підприємства.

1. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е. С.Кузнецов. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с. 2. Положення про технічне обслуговування та ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. 3. Ухарский В. Б. Техническое обслуживание и ремонт автобусов. Управление качеством и эффективность / В. Б.Ухарский. – М.: Транспорт, 1998. – 207 с. 4. Глобчак М. В. Дослідження причин нерівномірності роботи ремонтної майстерні ТЗОВ “Львівське АТП 14631” / М. В. Глобчак, С. В.Нікіпчук, Я. Я.Кайда // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2016. – Вип. 26.3. – С. 317–323. 5. Андрусенко С. І. Застосування збалансованої системи показників для управління підприємством автосервісу / С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2005. – № 10. – С.175–181. 6. Криворучко О. Системне оцінювання транспортних послуг / О.Криворучко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2011. – № 2. – С. 46–51. 7. Бабич А. П. Шляхи підвищення якості технічного обслуговування і ремонту автобусів на підприємствах автомобільного транспорту України / А. П. Бабич, І. М. Пічугін // зб. наук. пр. Харківського ун-ту Повітряних Сил. – Харків, 2015. – Вип. 1 (42). – С. 86–90. 8. Форнальчик Є. Вплив експлуатаційної надійності маршрутних автобусів на регулярність перевезень / Є. Форнальчик, Ю. Залуцький // Тези Всеукраїнської наук.-практ. конф. “Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні”. – Львів, 2015. – С. 51–52. 9. Форнальчик Є. Ю. Експлуатаційна надійність автобусів міського громадського транспорту / Є. Ю. Форнальчик, М. А. Виджак // Вісник Кременчуцького національного технічного університету ім. Михайла Остроградського.– Крементук, 2016. – №1 (96). – С. 91–96. 10. Надежность и эффективность в технике. Эксплуатация и ремонт; под ред. Кузнецова В. И., Барзиловича Е. Ю. – Т. 8. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.