

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВАГОННОГО ПАРКУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Запропоновано оцінювання впливу окремих факторів на узагальнюючий показник ефективності роботи залізниці та заходи щодо поліпшення експлуатаційної діяльності.

Предложены оценка влияния отдельных факторов на обобщающий показатель эффективности работы железной дороги и мероприятия для улучшения эксплуатационной деятельности.

The article is devoted to estimation of influence of separate factors on the summarizing index of operational efficiency of railway and suggestion of measures for the improvement of operating activities.

Використання в процесі аналізу виробничо-господарської діяльності підприємств залізничного транспорту класичних методів не завжди дає бажані результати, тому що в сучасних умовах в результаті суттєвого впливу науково-технічного прогресу, значного збільшення обсягу інформації ускладнилися взаємозв'язки та економічні стосунки між окремими підрозділами залізниць, між якісними та кількісними показниками експлуатаційної роботи.

Більше всього ускладнились взаємозв'язки в показниках використання вагонного парку залізниць, за допомогою якого задовольняються потреби користувачів транспортних послуг в перевезенні тисячі найменувань вантажів на всій мережі залізниць і в якому нараховується десятки типів вагонів.

Усі ці обставини стали підставою для застосування більш ефективних сучасних методів оцінки впливу окремих факторів, які засновані на використанні методів математичного моделювання та математичної статистики, на узагальнюючі показники роботи вагонного парку.

З метою відбору найбільш важливих факторів, які впливають на використання вагонного парку залізниць, було застосовано багатофакторний аналіз і методи експертних оцінок, сутність яких полягає в статистичному моделюванні якісних показників використання вагонного парку. Проведений аналіз взаємозв'язку різних показників свідчить про досить складні залежності між ними та пояснює, чому сучасними методами неможливо їх обґрунтувати.

Застосування методу статистичного моделювання для прогнозування узагальнюючих показників використання вагонного парку з використання багатомірної середньої дозволив виявити найбільш важливі фактори в конк-

ретних умовах діяльності залізниць, які суттєво впливають на результати експлуатаційної діяльності підрозділів залізничного транспорту.

У сучасних умовах ускладнення господарських зв'язків, концентрації та спеціалізації виробництва роль транспортного фактору зростає.

У транспортній системі країни на зриму перспективу головну роль і основну долю в перевезеннях вантажів буде виконувати залізничний транспорт як один із надійних видів по забезпеченню транспортних послуг в силу природних умов, розміщення продуктивних сил та можливість освоєння перевезень іншими видами транспорту.

Обсяги роботи залізниць по перевезенню вантажів залежать насамперед від обсягів виробленої продукції і розміщення продуктивних сил. Для перевезення різних вантажів необхідний вагонний парк різних типів, а умови навантаження і вивантаження залежать від багатьох факторів: де виконуються вантажні операції; якими партіями подаються вагони під ці операції; які типи вагонів використовуються та інші технологічні фактори.

Різні вантажі в окремих типах вагонів перевозяться на різні відстані і визначаються середньою дальністю перевезень, що найбільш суттєво позначається на величині якісних показників використання вагонного парку залізниць (оборот, продуктивність, середньодобовий пробіг, повний і навантажений рейс, коефіцієнт порожнього пробігу, динамічне та статистичне навантаження та ін.).

Загальна модель роботи вагонного парку складається з трьох основних складових:

- з вагонами під вантажними операціями;
- з вагонами на технічних станціях;
- з вагонами в потягах та на проміжних станціях.

Така система поділу викликана специфікою та особливістю роботи вантажних вагонів. Групування основних показників використання вантажних вагонів за такими ознаками.

Узагальнюючі показники:

- обороту вантажного вагона;
- продуктивність вагона.

Вихідні показники:

- середньодобовий пробіг;
- повний рейс;
- навантажений рейс;
- коефіцієнт порожнього пробігу;
- динамічне навантаження на вагон;
- статичне навантаження на вагон.

Для забезпечення транспортними послугами їх користувачів на перспективний період необхідно знати, скільки і яких типів вагонів потрібно мати в експлуатації. Звідси дуже важливе значення має прогнозування показників використання вагонного парку, а також кількість вантажних вагонів за типами.

У загальному вигляді кількість вантажних вагонів (парк вагонів) за типами, які необхідні для перевезень різних вантажів, визначається за формулою

$$n = U \cdot O_{\text{в}},$$

де  $U$  – робота вагонів (кількість щодобового навантаження вантажних вагонів у фізичних одиницях);  $O_{\text{в}}$  – оборот вагона в добах.

Робота мережі залізниць визначається і залежить від кількості вантажів у тоннах, які заявляються до перевезень  $P_{\text{в}}$ , та середньозваженого статистичного навантаження і визначається за формулою

$$U = \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{ст}}}.$$

Статистичне навантаження – це похідна від структури вантажообороту і вагонного парку, яка залежить від співвідношення між різною питомою вагою чи обсягами вантажних вагонів за типами і визначається за формулою

$$P_{\text{ст}} = \frac{\sum P_l}{\sum U}.$$

Величина статистичного навантаження залежить від співвідношення в заявлених до перевезень вантажів визначається за формулою

$$P_{\text{ст}}^c = \frac{1}{\frac{\alpha_1}{P_1} + \frac{\alpha_2}{P_2} + \dots + \frac{\alpha_n}{P_n}},$$

де  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – доля визначеної групи вантажів у загальному вантажообороті;  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – відповідні статистичні навантаження вище наведених вантажів.

Для прогнозування цього показника необхідно вивчити тенденцію вантажообороту, який освоюється даним типом вагонів (які вантажі можна перевозити у визначених типах вагонів виходячи з різних умов їх застосування – фізичних, технологічних, економічних та ін.).

**Аналіз обороту вагона за його складовими.** Простий під вантажними операціями. Навантаження вантажних вагонів здійснюють десятки тисяч підприємств, які мають різні озброєність і умови для виконання вантажних операцій. Крім того частина вагонів попадають під подвійні операції, тривалість яких для різних типів вагонів набагато відрізняється від середньої величини.

Кількість вагонів окремих типів, що проходять подвійну операцію, залежить від спеціалізації вагонів та організації перевізного процесу, регулювання вагонним парком, черговості їх подачі на навантажувально-розвантажувальні фронти, нерівномірність їх подачі, пов'язаної з неритмічною роботою мережі та інших факторів.

На технічних станціях переробляється частина транзитних вагонів, інша – пропускається через станцію без переробки зі зміною локомотива чи локомотивних бригад залежно від складеного плану формування.

Кількість перероблених вагонів на технічних станціях залежить від організації вагонопотоків і якості плану формування вантажних потягів, а також встановлення техніко-економічних показників, які є похідними від перших факторів.

Аналіз експлуатаційної роботи показує, що найбільші простой на технічних станціях мають криті вагони і платформи, які перевозять вантажі з найменшою дальністю перевезень.

Знаходження вагонів в русі і на проміжних станціях залежить від середньої відстані перевезень та дільничної швидкості руху потягів. Якщо середня відстань в основному залежить від якості планування перевезень, спеціалізації, концентрації виробництва, системи транспортно-економічних зв'язків та організації матеріально-технічного постачання, то дільнична швидкість – виключно від якості роботи залізниць.

Величина цієї швидкості залежить в першу чергу від технічної швидкості, яка залежить від того, якими видами тяги та типами локомотивів і на яких ділянках (одно, дво чи багатоколіїних) виконуються перевезення, та системи організації руху потягів на цих ділянках, наявність на них пасажиропотоків та інших факторів.

Вищенаведений аналіз показує, що оборот вантажного вагона залежить від багатьох факторів як залежних, так і незалежних від діяльності залізничного транспорту, тому цю проблему необхідно розглядати з загальнодержавних позицій.

Моделювання роботи вагонного парку і показників його використання можна подати у вигляді

$$O_b = t_{bo} + t_{tc} + t_{px},$$

де  $t_{bo}$  – час простою вагонів під вантажними операціями;  $t_{tc}$  – час простою вагонів на технічних станціях;  $t_{px}$  – затрата часу в добі (год) вагонів у русі і простою на проміжних станціях у потягах;

$$t_{bo} = t_{nk} + t_{ct},$$

де  $t_{nk}$  – середній час, який витрачається на операції завантаження і вивантаження з вагону в розрахунку на одну операцію, год;  $t_{ct}$  – середній час простою вагонів на станціях навантаження і вивантаження вантажів під технічними операціями і в очікуванні їх проведення.

Чисельні значення встановлюються на основі вибіркового даних, різних нормативів на виконання вантажних операцій, оскільки звітні дані за цими показниками відсутні.

Вибіркові дослідження показують, що середній рівень показника  $t_{nk}$  безпосередньо залежить від структури перевезених вантажів, а також від структури вагонного парку і визначається за формулою

$$t_{nk}^{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=n}^m t_{nk}^{ij} \cdot \Delta_{ij},$$

де  $t_{nk}^{ij}$  – затрати часу на одну вантажну операцію для  $i$ -го типу вагона при перевезенні в ньому  $i$ -ї групи вантажу;  $\Delta_{ij}$  – доля  $i$ -ї групи вантажів, які перевозяться в  $i$ -му типі вагонів в загальному обсязі навантаження на мережі залізниць за звітний період.

Значення показника  $t_{ct}$  можна вважати постійною величиною для всіх вагонів і вантажів, оскільки операції, які пов'язані з маневровою роботою, оформленням документів та очікуванням виконання вантажних операцій і відправлення, може бути визначено за формулою

$$t_{ct} = \sum_{i=1}^n t_{ct}^i \Delta_i.$$

Як показують дослідження, до 70 % числового значення часу знаходження вагонів під вантажними операціями складає  $t_{ct}$ .

Проведені розрахунки значень середнього часу простою вагонів під однією вантажною операцією для всіх типів вагонів складає 30 год; з них – критих і ізотермічних – біля 50, платформ – 34, піввагонів – 26, цистерн – 20, інших типів – 15.

Для розрахунків, які пов'язані із знаходженням вагонів під подвійними операціями, використовують коефіцієнт місцевої роботи, величина якого показує, скільки вантажних операцій виконується за один оборот вагона, в останній час має тенденцію до зростання і  $K_m$  розраховується за формулою

$$K_m = \frac{n_o}{U},$$

де  $n_o$  – кількість вантажних операцій;  $U$  – кількість оборотів вагона (робота залізниці у вагонах).

Час простою вагонів на технічних станціях на один оборот ( $\bar{t}_{tc}$ ) визначається за формулою

$$\bar{t}_{tc} = \frac{l_c}{L_b} t_{tc},$$

де  $\bar{t}_{tc}$  – середньозважений час простою вагона на технічній станції;  $l_c$  – середня відстань перевезень вантажів в кілометрах;  $L_b$  – середнє вагонне плече – відстань в кілометрах між сортувальними станціями, на яких вагон попадає в переробку.

Відношення  $\frac{l_c}{L_b}$  показує, скільки технічних станцій проходить вагон за час обороту з переробкою.

Затрата часу вагона на один оборот в русі та простої в потягах на проміжних станціях  $t_{px}$  визначається за формулою

$$t_{px} = \frac{l_c}{V_g},$$

де  $V_g$  – середньозважена дільнична швидкість руху вантажних потягів, яка враховує час в русі та у простої в потягах на проміжних станціях.

Важливим показником, від якого залежить величина обороту вагона, є коефіцієнт порожнього пробігу вагона ( $\alpha$ ). Його величина пов'язана зі структурою парку вантажних вагонів, територіальним розміщенням вантажодіючих галузей і характером транспортно-економічних зв'язків, розподілом перевезень

між окремими видами транспорту, наявністю спеціалізованого рухомого складу, що безпосередньо впливає на співвідношення вантажо- і вагонопотоків за напрямками.

Величина середньо-мережного коефіцієнта порожнього пробігу ( $\alpha$ ) визначається за формулою

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta_i,$$

де  $\alpha_i$  – величина порожнього пробігу  $i$ -го типу вагона;  $\Delta_i$  – доля  $i$ -го типу вагонів в сумарному пробігові вантажних вагонів за звітний період.

Узагальнюючим показником використання вагонного парку залізниць є продуктивність вантажного вагона – робота, яка виконана одним вагоном робочого парку за добу в тонно-кілометрах нетто. За допомогою цього показника може бути розрахований робочий парк для виконання необхідного обсягу перевезень. Продуктивність вантажного вагона залежить від всіх наведених вище факторів та показників, які об'єднуються в декілька узагальнюючих. До них відносяться динамічне навантаження на один вагон робочого парку ( $q_b$ ), середньодобовий пробіг ( $S_b$ ) і коефіцієнт порожнього пробігу вагонів ( $\alpha$ ), взаємозв'язок між якими показано у формулах

$$W_b = \frac{q_b - S_b}{1 + \alpha} = q_p S_b,$$

де

$$q_p = \frac{q_b}{1 + \alpha}.$$

Динамічне навантаження на один завантажений вагон залежить від тих же факторів, що і статистичне навантаження ( $P_{ct}$ ) (роду вантажу і типу вагона) та від співвідношення середньої відстані перевезень важко- і легковагових вантажів, яке наглядно пояснюється за допомогою формули

$$q_b = \frac{\sum Pl_n}{\sum nS_b},$$

де  $\sum Pl_n$  – вантажооборот залізниці в т·км нетто;  $\sum nS_b$  – пробіг навантажених вагонів, якими виконаний цей обсяг перевезень.

Як виходить з формули, при збільшенні відстані перевезень важковагових вантажів чисельник буде зростати, а знаменник зменшуватися і, навпаки, – при збільшенні перевезень легковагових вантажів знаменник буде зростати,

а чисельник – зменшуватися, що і необхідно було довести.

Через величину вантажообороту та продуктивність вагона його парк визначається за формулою

$$n = \frac{\sum Pl_n}{W_b t},$$

де  $W_b t$  – період часу, за який прийнято виконаний вантажооборот.

Оскільки продуктивність вантажного вагона залежить від всіх проаналізованих показників, є необхідність з метою аналізу використання вагонного парку та прогнозу його необхідності за окремими типами скласти модель факторного аналізу, попередньо згрупувавши окремі показники в узагальнюючі, і за допомогою рівняння регресії встановити силу впливу окремих факторів на узагальнюючий.

Система групування показників використання вагонного парку за узагальнюючими факторами наводиться нижче.

Аналіз взаємозв'язків окремих показників і факторів дозволив вибрати узагальнюючі фактори за визначеними чинниками. До них відносяться: А – показники використання вантажопідйомності вагонного парку; В – показники використання вантажних вагонів в часі; С – показники допоміжної роботи вантажних вагонів.

В узагальнюючий фактор А входять:  $P_{ct}$  – статичне навантаження на вагон, т;  $q_b$  – динамічне навантаження на один завантажений вагон, т;  $\alpha$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

В узагальнюючий фактор В входять:  $t_{bo}$  – простій вагонів під вантажними операціями;  $t_{tc}$  – простій вагонів на технічних станціях;  $t_{px}$  – знаходження вагонів у русі і на проміжних станціях.

В узагальнюючий фактор С входять:  $\alpha$  – коефіцієнт порожнього пробігу;  $t_o$  – простій вагонів в очікуванні виконання вантажних операцій чи відправлення;  $S_b$  – середньодобовий пробіг вантажних вагонів.

Використання наведеної моделі дозволяє оцінити вплив окремих факторів на узагальнюючий показник ефективності роботи залізниці і запропонувати заходи щодо покращення експлуатаційної діяльності. Побудована модель за трьома узагальнюючими факторами і 8-ми показниками використання вагонного парку дає можливість одержати регресивне рівняння залежності продуктивності вантажного вагона від узагальнюючих факторів А, В, С типу

$$Y = K1 + K2 \cdot A + K3 \cdot B + K4 \cdot C.$$

З цього рівняння витікає, що параметри вільного члена та коефіцієнтів при узагальнюючих факторах показують, як впливають на продуктивність вантажного вагона невраховані фактори (K1), показники використання вантажності і місткістю вагонів (K2), показники простою вагонів під технологічними операціями (K3) і використання вагонів у русі (K4).

Для відбору найбільш важливих факторів, які впливають на використання рухомого складу, застосовується багатофакторний аналіз і метод експертних оцінок. Сутність вказаних методів полягає в статистичному моделюванні якісних показників використання рухомого складу. Проведений аналіз взаємозв'язків різних показників свідчить про дуже складні взаємозв'язки між ними, пояснити які існуючими методами дуже проблематично.

Застосування методу статистичного моделювання в прогнозуванні узагальнюючих показників використання вагонного парку на основі багатомірної середньої дозволило виявити найбільш важливі фактори в конкурентних умовах роботи залізниці, які суттєво впливають на результати експлуатаційної діяльності підрозділів залізниці.

Модель факторного аналізу має такий вигляд: всі показники використання вантажних вагонів об'єднані в окремі групи за характером і умовами використання вагонів.

До першої групи відносяться показники використання вантажних вагонів за вантажопідйомністю і місткістю (статистичне і динамічне навантаження і ступінь використання вантажопідйомності вагонів).

До другої групи відносяться показники використання вантажних вагонів на станціях (під вантажними операціями на технічних і проміжних станціях).

До третьої групи відносяться показники використання вантажних вагонів в русі (середньодобовий пробіг, коефіцієнт порожнього пробігу).

Для побудови моделі впливу узагальнених факторів на досліджуваний показник продуктивності вагона використовується запропонована д-ром екон. наук, проф. П. М. Рабиновичем ідея багатомірної групування. Для цього по всіх підрозділах залізниці розраховуються середні значення відношень  $P_i$ , яке характеризує даний елемент за деякою групою ознак і визначається як багатомірна середня. У даному випадку вибір групи ознак встановлено на основі технології роботи і місця в ній вагонів вантажного парку.

Використання середньої може бути подано в якості узагальнюючого оціночного показника використання рухомого складу за окремими операціями перевізного процесу. Багатомірна середня характеризує елемент сукупності по ряду ознак в той час, як звичайна середня характеризує сукупність за однією ознакою.

Групуються елементи статистичної множини за величиною  $P_{ij}$ , проводиться багатомірне групування і виявляється взаємозв'язок між комплексом прийнятих в розрахунок факторів і результативними ознаками.

Оскільки результативна ознака виражається не в абсолютних цифрах, а відносною величиною  $\left(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right)$ , то з'являється можливість використати для аналізу комплекс результативних ознак за допомогою усереднення укрупненого показника і модифікувати систему кореляційного аналізу.

Шляхом алгебраїчних перетворень з використанням коефіцієнтів рівнянь, які знаходяться за системою нормальних рівнянь, одержані всі коефіцієнти рівняння регресії, за допомогою яких оцінюється вплив різних укрупнених факторів, що аналізуються.

Загальна система багатофакторної моделі включає виявлення суттєвих факторів, які впливають на дане явище і обсяги вихідної інформації; встановлення причинного зв'язку між результативними і факторними ознаками; аналіз динаміки результативної ознаки і факторів, під дією яких вона змінюється (виявлення тенденцій і факторів їх розвитку, встановлення термінів дії факторів); визначення ступеня впливу факторів на результативну ознаку; складання багатофакторного прогнозу – рівняння регресії.

Для вибору моделі взаємозв'язку і багатофакторного прогнозування необхідно вирішити питання, які пов'язані з встановленням проблеми – мети кореляційно-регресивного аналізу; проблему об'єкту – однорідний, неоднорідний, просторовий, часовий та ін.; проблему часу – за який період необхідні дані (місяць, квартал, рік); проблему застосування того чи іншого методу; проблему вибору форми зв'язку; проблему відбору суттєвих факторів; проблему оцінки параметрів рівняння; проблему адаптації, виявлення, на скільки рівняння задовольняє дійсну модель; проблему судження за поведом одержаного результату (економічна інтеграція); проблему вводу нових факторів і виводу застарілих з моделі.

Статистична сукупність складається з п'яти структурних підрозділів і восьми суттєвих ознак – якісними показниками використання вантажних вагонів по кожній структурній одиниці. За кожним показником знаходиться середнє арифметичне значення ознаки:

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_{2j}}{N} ; \bar{X}_2 = \frac{\sum X_{2j}}{N} ;$$

$$\bar{X}_3 = \frac{\sum X_{3j}}{N} ; \dots \bar{X}_8 = \frac{\sum X_{8j}}{N} ,$$

а для кожної одиниці сукупності – відношення

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\bar{X}_i} ,$$

де  $j$  – порядковий номер одиниці статистичної безлічі (порядковий номер структурного підрозділу залізниці);  $i$  – порядковий номер показника.

Одержані відношення будуть характеризувати місце і значення кожного елемента в сукупності.

У результаті розрахунків за вищенаведеною формулою одержимо матрицю, яка складається з відношень, що характеризують кожну структурну одиницю залізниці за сукупністю показників (таблиця).

Таким чином, сума восьми індивідуальних індексів для кожного структурного підрозділу визначає його місце серед інших підприємств, тобто за даним методом розраховується рейтингова оцінка за результатами експлуатаційної діяльності, що характеризує рівень виконання якісних показників.

**Рейтингова оцінка підрозділів залізниці за виконаними якісними показниками**

Структурні підрозділи залізниці	Індивідуальні індекси (відношення) за факторними ознаками ( $X$ )					Сума значень $P_{ij}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_8$	
1	$P_{11}$	$P_{21}$	$P_{31}$	...	$P_{81}$	
2	$P_{12}$	$P_{22}$	$P_{32}$	...	$P_{82}$	
3	$P_{13}$	$P_{23}$	$P_{33}$	...	$P_{83}$	
4	$P_{14}$	$P_{24}$	$P_{34}$	...	$P_{84}$	
5	$P_{15}$	$P_{25}$	$P_{35}$	...	$P_{85}$	

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мішечкін В. Г. Інформаційне забезпечення управління експлуатаційною роботою залізниць України та основні напрямки його удосконалення / В. Г. Мішечкін, О. В. Юрченко, В. І. Пасічник, О. А. Шпак // Вісник УНУ ім. Даля. – 2003. – № 9 (67). – С. 151–156.
2. Эйтулис Г. Д. Справочник по экономической оценке эксплуатационной деятельности железных дорог Украины / Г. Д. Эйтулис, В. И. Пасечник. – К. – 1997. – 44 с.
3. Романко В. І. Статистика залізничного транспорту: Збірник задач. ДПТ / В. І. Романко, В. І. Пасічник, О. Н. Задорожна, С. І. Швець. – Д., 2002. – 135 с.
4. Пасічник В. І. Теоретичні основи економіки експлуатаційної діяльності залізниць. – К.: Науковий світ, 2003. – 222 с.

Надійшла до редколегії 08.09.2005.