

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Д. М. Козаченко, О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова

**ПРОПУСКНА ТА ПРОВІЗНА
СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Навчальний посібник для студентів ВНЗ

Дніпро «Герда» 2017

УДК 656.222 (075.8)
ББК 39.26

Рецензенти:

Таран І. О., професор, доктор технічних наук (Національний гірничий університет)

Мироненко В. К., професор, доктор технічних наук (Державний економіко-технологічний університет транспорту)

Бобровський В. І., професор, доктор технічних наук (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

Рекомендовано до друку Вченою радою Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна (протокол № 3 від 30.10.2017 р.)

Зареєстровано НМВ ДНУЗТ (реєстр. № 323/17-11 від 19.12.2017)

Козаченко Д. М.

К 59 Пропускна та провізна спроможність залізниць [Текст] : навч. посіб. для студентів ВНЗ / Д. М. Козаченко, О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2017. – 108 с.

ISBN 978-617-7097-83-8

В навчальному посібнику викладено теоретичні відомості щодо розрахунків пропускної спроможності залізничних напрямків при різному технічному оснащенні. Розглядаються питання її підвищення за рахунок зміни способів організації руху поїздів та підвищенню технічного оснащення інфраструктури і тягового забезпечення.

Призначений для виконання практичних і самостійних робіт, дипломного проектування студентами, які навчаються у вищих навчальних закладах за напрямом 275 «Транспортні технології» і вивчають дисципліну «Пропускна та провізна спроможність залізниць».

УДК 656.222 (075.8)

© Козаченко Д. М., Папахов О. Ю., Логвінова Н. О., 2017
© Дніпропетровський нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад.
В. Лазаряна, редагування, оригінал макет. 2017

ISBN 978-617-7097-83-8

ВСТУП

Залізничні напрямки є найскладнішими елементами транспортної інфраструктури залізниць. Розробка раціональної технології їх експлуатаційної роботи є одним із факторів зменшення витрат, що пов'язані з перебуванням вагонів в процесі перевезення, підвищення ефективності перевізного процесу та забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку транспортних послуг.

Навчальний посібник містить теоретичні відомості щодо розрахунків пропускної спроможності залізничних напрямків при різному технічному оснащенні. Розглядаються питання її підвищення за рахунок зміни способів організації руху поїздів та технічного оснащення інфраструктури і тягового забезпечення.

Видання призначене для студентів вищих навчальних закладів напрямку «Транспортні технології» спеціальності «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» і може використовуватися для підготування до практичних робіт з дисципліни «Пропускна та провізна спроможність залізниць» та дипломного проектування.

1. ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ

1.1. Поняття про транспортні потоки

Фахівці з технології та управління перевізним процесом на залізничному транспорті в своїй виробничій діяльності постійно аналізують, розраховують, планують та прогнозують транспортні потоки, від обсягу яких залежать прибутки залізниць.

Транспортні потоки зумовлюють навантаження на транспортну мережу, від їх обсягів залежать потрібна потужність транспортних систем в цілому (станцій, депо, ділянок, полігонів), потреба в рухомому складі, паливі, матеріалах та інших ресурсах. Вони необхідні в якості вихідних даних під час розробки технології та розрахунків потужності всіх типів станцій, розрахунку плану формування і графіка руху поїздів, складань технічних і технологічних документів [1].

Якщо мова йде про потоки, що були вже виконані, вони розглядаються як статистичні або звітні. Потужності транспортних потоків визначаються в оперативних планах та розраховуються і прогнозуються на майбутнє.

Кожен залізничний вузол, станція та їхні лінії з'єднання мають свою характеристику. Максимальний потік, який може бути пропущений по

елементах мережі в одиницю часу, становить пропускну (переробну) спроможність елементів мережі або всієї мережі в цілому [2].

Транспортний потік – це навантаження на транспортну мережу: чим більше потік, тим вище навантаження.

У загальній теорії транспортних потоків вирішують одночасно дві складні задачі [3].

Перша задача полягає у визначенні оптимального транспортного потоку на існуючій транспортній мережі або її елементах. Якщо потік перевищує це значення, мережа буде працювати в режимі перевантажень, з затримками, заторами, відмовами та економічними втратами.

Вирішення другої задачі полягає у встановленні оптимальної потужності мережі для пропуску заданих або прогнозованих потоків.

На мережі виділяють вузли (пункти), які є джерелами транспортних потоків або пунктами відправлення (витоками), а також вузли (пункти), які є місцями призначення потоку, або пунктами стоку. Терміни «витік-стік» характерні для іноземної літератури з теорії транспортних потоків, а «пункт відправлення – пункт призначення» або «кореспонденція потоку» – для вітчизняної літератури.

Потоки можуть бути з єдиним пунктом відправлення (джерелом) і з єдиним пунктом призначення (стоком). Однак в більшості випадків під час розгляду плану формування, графіка руху поїздів та розробки планів (оперативних і на більш тривалий час) доводиться мати справу з багатотермінальними (мультитермінальними) потоками – із багатьма пунктами відправлення та пунктами призначення.

Багатотермінальні потоки утворюються злиттям та об'єднанням однотермінальних потоків на основі принципу адитивності – складанні транспортних потоків. Принцип адитивності не може застосовуватися механічно, наприклад, для різнорідних транспортних потоків. Так, не можна підрахувати пасажирські поїзди з вантажними без попереднього приведення пасажирських поїздів до вантажних за ступенем впливу на використання пропускну спроможності.

Не можна складати транспортний потік пасажирів з транспортним потоком вантажів. Ці потоки іноді складаються з огляду на спеціальні застереження та допущення.

Якщо позначити транспортний потік N , принцип його адитивності можна виразити:

$$N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (1.1)$$

де n – кількість транспортних потоків.

Багатотермінальні потоки зазвичай призводять до одностермінальних, пов'язуючи багато пунктів відправлення і пунктів призначення в один суперісток і суперсток відповідно. Умовно вважаючи, сумарний потік бере свій початок в укрупненому пункті відправлення і закінчується в укрупненому пункті призначення.

Якщо розглядати потік складної структури [4], який є характерним для залізничних ліній, що пов'язують вузли, то можна аналізувати параметри одного потоку при незмінних параметрах іншого, складати композицію складних неоднорідних потоків з простих, однорідних. Так, наприклад, можна і в низці випадків вивчати параметри потоку вантажних поїздів при певному числі пасажирських або приміських за незмінних умов пропуску інших категорій поїздів.

Таким чином, транспортний потік – це композиція багатьох простіших потоків, яка має свої особливості, що пов'язані з великою масою і швидкістю транспортних одиниць, способами його регулювання, пропуску, виникнення і погашення на станціях і в вузлах. Він має свої закони розподілу і параметри, що необхідні під час розрахунків потужності, обґрунтування технології і управління транспортними системами.

Контрольні запитання до блоку 1.1

1. Які основні задачі вирішуються у загальній теорії транспортних потоків?
2. В чому полягає принцип адитивності в загальній теорії транспортних потоків?

1.2. Математична постановка задачі навантаження на транспортну систему

У кожній транспортній системі можуть бути виділені вузли із ребрами (лініями), що їх з'єднують, причому під цією лінією може розумітися відстань, вартість перевезення, час перевезення, рівень безпеки та інші категорії оцінки роботи системи.

Аналіз потоку поїздів можна здійснити за принципом «потік-час» (в результаті утворюються поїздо-години, вагоно-години) і «потік-відстань» (поїздо-кілометри, вагоно-кілометри).

Часові та просторові показники взаємопов'язані між собою [6] та мають важливе значення. Тимчасові параметри потоку (інтервали і просторові блок-ділянки) впливають на режими руху: їзда під зелений на зелений, під зелений на жовтий, при жовтому на червоний вогні світлофорів. Ці режими впливають на швидкість просування потоку.

Про потужність потоку можна судити лише в тому випадку, коли відомо значення транспортного потоку і відрізок часу, протягом якого потік був пропущений. Під інтенсивністю потоку поїздів розуміють кількість поїздів, які були пропущені в одиницю часу.

Можливо розглядати інтенсивність потоку за той чи інший відрізок часу як фактично реалізовану або прогнозовану величини. Так, наприклад, часовий темп надходження поїздів може характеризуватися послідовністю чисел: 530466402134. Це означає, що протягом 12 годин поїзда на станцію надходили з годинним темпом 5, 3, 0, 4 і т.д. Інтенсивність потоку робить вирішальний вплив на технологію і управління станцією, використання її потужностей.

Якщо позначити потік за період часу t як $N(t)$, середня інтенсивність потоку в прийнятій одиниці часу (годину, добу) складе [2]

$$\bar{r}(t) = N(t)/t. \quad (1.2)$$

Оскільки інтенсивність потоку λ – величина змінна (рис. 1.1) та змінюється під впливом багатьох чинників, необхідно знати розподіл інтенсивностей при відомій середній інтенсивності $\bar{r}(t)$ або відомому математичному очікуванні $M[r(t)]$.

Транспортний потік однозначно визначено, якщо відомі $r(t)$ або $M[r(t)]$, а також вид розподілу (закон розподілу) інтенсивностей та характеристики цього закону. Інтенсивність – це потік, що надходить в одиницю часу.

В якості одиниці часу можна приймати часові відрізки 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 год., або 2, 3, 4 год. або великі за тривалістю відрізки часу.

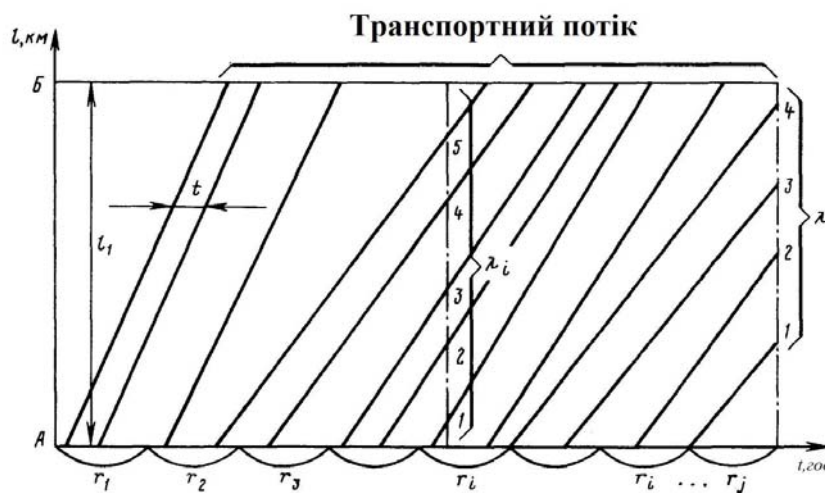


Рис. 1.1. Залежність транспортного потоку від його характеристик r та λ

Якщо позначити змінну інтенсивність транспортного потоку через x , годинну інтенсивність – r , то щільність розподілу інтенсивностей транспортного потоку протягом часу T можна висловити законом Гауса, умовно допускаючи безперервність x

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-rT)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.3)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення інтенсивності транспортного потоку за час T .

Інтегральна форма цього закону

$$P(X < x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-rT)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.4)$$

Слід розуміти, що нормальний закон узгоджується зі статистичними даними при значеннях $T > 0,75-1,5$ год. У менших періодах часу за критеріями згоди часто підходить закон Пуассона

$$P(X = x) = \frac{(rT)^x}{x!} e^{-rT}. \quad (1.5)$$

При будь-яких значеннях періоду T найкраще узгодження зі статистичними даними, як правило, виходить у біноміального закону, ймовірність прибуття x поїздів за час T для якого визначається

$$P(X = x) = \binom{W_T}{x} \cdot p^{-x} q^{W_T-x}, \quad (1.6)$$

де W_T – максимально можливий підвід поїздів (кількість можливих ниток графіка) за час T ;

p – ймовірність того, що по якійсь нитці графіка прибуде поїзд, визначається відношенням розрахункової кількості поїздів до максимально можливого:

$$p = \frac{rT}{W_T};$$

q – ймовірність зворотної події; $q = 1 - p$;

$\frac{W_T}{x}$ – кількість сполучень з W_T елементів по x , яке дорівнює

$$\left(\frac{W_T}{x}\right) = \frac{W_T!}{x! \cdot (W_T! - x)!} \quad (1.7)$$

Можливість використання трьох законів для апроксимації статистичних даних має своє обґрунтування в теорії ймовірностей, з якої випливає, що нормальний та пуассонівський закони є апроксимуючими для біноміального, причому перший – при $W_T \rightarrow \infty$, другий – при $W_T \rightarrow \infty$ та $P \rightarrow 0$.

В експлуатації залізниць використовуються й інші закони розподілу (під час розробки технології роботи станцій для апроксимації транспортного потоку часто застосовуються розподіли Ерланга, гамма-розподіл та ін.).

Таким чином, потік поїздів визначається розподілом інтенсивності $r(t)$. Потоки поїздів (складів) характеризуються також дисперсією $D(rT_i)$ або $D(J)$, середньоквадратичним відхиленням σ , коефіцієнтом варіації $v = \frac{\sigma}{rT}$, коефіцієнтом асиметрії, коефіцієнтом ексцесу та іншими параметрами розподілу. Отже, потік поїздів (складів) характеризується певними параметрами

$$N_j = N\{rT_{ij}, D_j(rT_i), \sigma_j, v_j, \dots\}; \quad (1.8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Зміна параметрів потоку під впливом таких операцій, як прийом поїздів на станцію, їх обробка, розформування, утворення нових складів (в сортувальному парку), закінчення формування, підготовка до відправлення, відправлення, тобто під впливом фаз обслуговування потоку, будемо називати трансформацією потоку. Якщо потік пройшов через k фаз, то з потоком відбулася k -кратна трансформація.

У виразі (1.8) кількість трансформацій позначається індексом j . Трансформація потоку може призводити до суттєвих змін його параметрів. Позначивши для вихідного потоку $j = 0$ і трансформацію потоку на фазі його обробки \rightarrow , послідовність видозмін параметрів потоку можна записати у вигляді

$$N_0 = N_0\{(rT_i)_0, D_0(rT_i), \sigma_0, v_0, \dots\} \rightarrow N_1\{(rT_i)_1, D_1(rT_i), \sigma_1, v_1, \dots\} \rightarrow N_2\{(rT_i)_2, D_2(rT_i), \sigma_2, v_2, \dots\} \rightarrow \dots \rightarrow N_k\{(rT_i)_k, D_k(rT_i), \sigma_k, v_k, \dots\} \quad (1.9)$$

Параметри потоку під впливом трансформації можуть значною мірою відрізнятись від параметрів вихідного потоку. Вплив фаз обробки потоку може знижувати або підвищувати його нерівномірність. Він на різних фазах може компенсуватися, погашатися або навпаки посилюватися. Тому під час розрахунку пристроїв обробки потоку (парків, горловин, сортувальних пристроїв, обґрунтування кількості бригад ПТО та ін.) необхідно знати параметри саме того потоку, який буде утворюватися на вході відповідної фази обробки.

Просторовою характеристикою потоку є його щільність – кількість транспортних одиниць (поїздів), яка припадає на одиницю довжини лінії (див. рис. 1.1). На залізничній ділянці на кожен момент часу t_i буде знаходитися N_i поїздів. Таким чином, щільність потоку на момент t_i

$$\lambda(t_i) = \frac{N_i(t_i)}{l}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (1.10)$$

де l – довжина ділянки, км.

Оскільки на кожен момент часу t_i поїзда на ділянці розподілені рівномірно, зі зміною i змінюється і щільність $\lambda(t_i)$. Тому розраховують середню щільність на деякому часовому інтервалі

$$\bar{\lambda}(t_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda(t_i)}{n}. \quad (1.11)$$

Зі збільшенням щільності потоку поїздів до деякого рівня виникають незадовільні режими руху – під зелений на жовтий або під жовтий на червоний вогні світлофорів зі зниженням швидкості просування потоку. Інтенсивність та щільність потоку тісно пов'язані між собою: спочатку зі збільшенням щільності режими руху поїздів не порушуються, інтенсивність зростає, реалізована пропускна спроможність теж зростає. При подальшому зростанні щільності настає максимальна інтенсивність. Якщо щільність продовжує зростати і далі, виникають несприятливі режими просування потоку, його інтенсивність знижується, також знижується реалізована пропускна спроможність лінії.

З виникненням відмов у зв'язку з надзвичайно високою щільністю потоку, потік періодично зупиняється на деякі відрізки часу $t_{\text{відк}j}$, реалізована пропускна спроможність протягом цих відрізків часу дорівнює нулю та чим більше таких відрізків, тим нижче реалізована пропускна спроможність за добу. Таким чином, для кожної лінії існує таке

значення щільності потоку $\lambda^*(t_i)$, при якому реалізується максимальна інтенсивність потоку $r(t)$ та максимальний потік $N(t)$:

$$\lambda^*(t_i) \rightarrow \max r(t) = \frac{\max N(t)}{t}. \quad (1.12)$$

Транспортні потоки, їх обґрунтування і розрахунок на поточний рік експлуатації та прогноз на перспективу є важливою умовою системного підходу в розробці питань управління, технології роботи і розрахунку потрібних пропускних і переробних спроможностей залізниць і їх елементів.

Навантаженням для таких систем, як залізничний напрямок та ділянка є добовий поїздопотік з урахуванням всіх категорій поїздів (добова інтенсивність потоку). Для сортувальної, дільничної станції навантаженням є добовий транзитний поїздопотік, який приймається і відправляється станцією, а також добовий перероблений поїздопотік (кількість розформованих та сформованих поїздів).

Транзитний і переробний поїздопотоки перераховуються в добовий вагонопотік, причому з переробленого виділяється ще місцевий вагонопотік – кількість вагонів, які прибувають під розвантаження і відправляються після навантаження. Для систем управління в якості навантаження служать потоки інформації, що є похідними від інтенсивностей транспортного потоку та інших факторів.

Розвиток транспортних систем пов'язано з визначенням перспективних навантажень – прогнозуванням транспортних потоків. У разі, якщо закон розподілу транспортного потоку є невідомим, для його розрахунку використовується коефіцієнт нерівномірності k_H :

$$k_H = N_{\max} / \bar{N}, \quad (1.13)$$

де N_{\max} – максимальна кількість транспортних одиниць (поїздів, вагонів), яка повинна бути пропущеною за розрахунковий період, як правило, добу;

\bar{N} – середня кількість транспортних одиниць за той самий період.

Коефіцієнт нерівномірності може розраховуватися за період року (внутрішньорічна нерівномірність), місяці (внутрімісячна нерівномірність) та інші періоди. Наприклад, внутрішньорічний коефіцієнт нерівномірності $k_H \text{ річ} = \frac{\bar{N}_{\max}}{\bar{N}}$, \bar{N}_{\max} – транспортні розміри руху максимального (за обсягом перевезень) місяця року. Якщо, наприклад, на дво-

колійній лінії середня кількість поїздів в місяці найбільших розмірів руху склала 130 вантажних поїздів, а середні добові розміри протягом року – 100 поїздів, то коефіцієнт $k_{н річ} = 1,3$.

За минулий період часу розміри руху можуть бути розраховані за статистичними (обліковим) даними. Важче визначити обсяги роботи на перспективні періоди (5, 10, 15, 20 років). Для цього використовуються різні методи прогнозування – науково обґрунтовані імовірнісні оцінки можливих значень транспортного потоку.

Контрольні запитання до блоку 1.2

1. Що може розумітися під транспортною лінією, якщо в транспортній системі виділені вузли із ребрами, що їх з'єднують?
2. Що повинно бути відомо при визначенні транспортного потоку?
3. Яким законом розподілу можливо подати щільність розподілу інтенсивностей транспортного потоку протягом часу?
4. Чим характеризується потік поїздів?
5. Що є навантаженням для таких систем, як залізничний напрямок чи ділянка?

2. МЕТОДИ І ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ТА ПРОВІЗНОЇ СПРОМОЖНОСТЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ

2.1. Загальні принципи розрахунку пропускної спроможності залізниць

Пропускною спроможністю залізничної ділянки [2] називають максимальні розміри руху в поїздах (парах поїздів), які можуть бути реалізовані на неї за одиницю часу (добу, годину) залежно від наявних постійних пристроїв (кількості головних колій, засобів зв'язку для руху поїздів), типу і потужності тягових засобів та способу організації руху (типу графіка).

Провізною спроможністю залізничної лінії [2] називається найбільша величина вантажопотоку (в мільйонах тонн), яку може пропустити лінія протягом року. Провізна спроможність лінії залежить від її пропускної спроможності, норм маси вантажних поїздів, структури поїздопотоку за категоріями поїздів і вантажопотоку за видами вантажів та визначає потужність лінії, яка використовується для виконання вантажних перевезень під час забезпечення пропуску заданої кількості пасажирських та інших поїздів.

Для одноколійних ліній з рівними розмірами руху за напрямками пропускна спроможність визначається кількістю пар поїздів встановле-

ної маси обох напрямків, а для двоколійних ліній і одноколійних за непарним графіком – кількістю поїздів встановленої маси для кожного напрямку окремо. Кількість поїздів або пар поїздів, яку може пропустити залізнична лінія, зазвичай визначається за добовий період. Для приміських ділянок з інтенсивним пасажирським рухом через велику нерівномірність руху пропускна спроможність визначається не тільки за добу, а і за період найбільшого завантаження ділянки – годину пік.

Розрізняють наявну та потрібну пропускні спроможності [2, 7]. Наявна пропускна спроможність лінії – це максимальні розміри руху поїздів, які можуть бути реалізовані залежно від її технічного оснащення. Потрібна пропускна спроможність лінії – кількість поїздів, які необхідно реалізувати для виконання плану перевезень.

Розрізняють наявну та потрібну провізні спроможності лінії, що були одержані як результат можливого використання її потужності на здійснення вантажних перевезень, враховуючи потреби пасажирського руху. Пропускна спроможність розраховують виходячи з повного використання всіх технічних засобів. Однак, вона повинна мати резерв, який встановлюється за техніко-економічних міркувань і виражається різницею між наявною та потрібною пропускною спроможністю, тобто заданими (або планованими) на перспективу. Допустимий коефіцієнт заповнення пропускної спроможності ділянок на перегонах приймається рівним на двоколійних лініях – 0,91, ділянках з двоколійними вставками – 0,87 та на одноколійних – 0,85.

Пропускна спроможність залізничних ділянок визначається як в цілому для залізничної лінії або ділянки, так і за окремими елементами та пристроями: перегонами, станціями, локомотивними депо, пристроями електропостачання, водопостачання та іншими залізничними пристроями, які призначені для обслуговування руху поїздів. Зазвичай провізну спроможність визначають в цілому для залізничної лінії.

Результативна пропускна спроможність ділянок визначається на основі даних пропускної спроможності окремих пристроїв, а напрямків в цілому – на основі результативної пропускної спроможності ділянок. Результативну пропускну спроможність окремих ділянок встановлюють за такими елементами [2, 8]:

- по перегонах (кількість головних колій, довжина перегонів, профіль колії, пристрої автоматики і зв'язку, колійний розвиток проміжних роздільних пунктів, пристрої енергопостачання);
- по станціях (приймально-відправні колії і стрілочні горловини);

– по деповському господарству (стійла для періодичного огляду та ремонту електровозів і тепловозів, пристрої для екіпірування локомотивів і ходові колії);

– по пристроях електропостачання (тягові агрегати, силові трансформатори тягових підстанцій і контактна мережа).

Найменша з пропускних спроможностей цих елементів може обмежувати пропускну спроможність цієї виробничої одиниці в цілому і визначати значення результативної.

Пропускна спроможність встановлюється для ділянок залізничних ліній однаковим всюди технічним оснащенням, потужністю вантажопотоку та розмірами пасажирського руху. Початковими і кінцевими пунктами таких ділянок є сортувальні чи дільничні станції, зонні станції приміських ділянок, а іноді – проміжні станції зародження та погашення вантажопотоків відправницьких маршрутів [9].

Пропускна спроможність кожного окремого елемента технічних пристроїв визначають за його добовою або годинною продуктивністю і потужністю, які припадають на обслуговування одного поїзда або однієї пари поїздів. У загальному вигляді залежність між цими величинами може бути виражена

$$N = \frac{M - M_n}{t} \cdot \alpha_n, \quad (2.1)$$

де M – загальна потужність пристрою;

M_n – частина потужності пристрою, яка витрачається на обслуговування потреб, не пов'язаних безпосередньо з рухом поїздів;

t – потужність пристрою, яка витрачається на обслуговування одного поїзда або однієї пари поїздів;

α_n – коефіцієнт, який враховує частку добового бюджету часу, що використовується для пропуску поїздів при ймовірних відмовах в роботі технічних засобів.

З усіх елементів лінії найбільш часто пропускну спроможність обмежують перегони і станції. Пропускна спроможність перегонів як окремих елементів лінії розраховують при паралельному графіку, а всієї лінії – при непаралельному графіку.

Контрольні запитання до блоку 2.1

1. Що називають пропускну спроможністю залізничної ділянки?
2. Як визначається результативна пропускна спроможність ділянок?

2.2. Розрахунок пропускної спроможності перегонів при паралельному графіку

Пропускна спроможність перегону залежить від типу графіка, перегінного часу ходу, станційних інтервалів, інтервалів в пакеті, а також від колійного розвитку роздільних пунктів.

У загальному вигляді пропускна спроможність (пар поїздів) перегону згідно з формулою (2.1) може бути виражена залежністю [8, 10]

$$N = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{T_{\text{пер}}} \cdot \alpha_{\text{н}}, \quad (2.2)$$

де $T_{\text{пер}}$ – період графіка, хв.;

$t_{\text{техн}}$ – тривалість технологічного вікна, хв.;

$\alpha_{\text{н}}$ – коефіцієнт надійності роботи технічних пристроїв.

Технологічне вікно – це вільний від пропуску поїздів проміжок часу, який надається в графіку руху та необхідний для виконання робіт з поточного утримання та ремонту пристроїв колії, контактної мережі, сигналізації, централізації і блокування. Тривалість технологічного вікна залежить від типу застосовуваних машин і механізмів, а також від прийнятої технології робіт. Тривалість технологічного вікна в розрахунках наявної пропускної спроможності приймається рівною на двоколійних лініях і ділянках зі вставками для беззупинкового схрещення поїздів – 120 хв. і одноколійних ділянках – 60 хв. [2].

Значення коливається в діапазоні 0,86–0,98 для двоколійних ліній і 0,87–0,98 – для одноколійних [2]. Менше значення відповідає умовам, коли мінімальний міжпоїзний інтервал автоблокування становить 6 хв. і відносно мала частка пасажирських поїздів.

Годинна наявна пропускна спроможність по перегонах визначається без урахування технологічних вікон і коефіцієнта надійності роботи технічних пристроїв. В цьому випадку $t_{\text{техн}} = 0$, а $\alpha_{\text{н}} = 1$ (2.2).

Періодом графіка на одноколійних ділянках є час заняття перегону групою поїздів, яка є характерною для цього типу графіка. Періодом графіка на двоколійних ділянках на лініях з автоблокуванням є інтервал між поїздами, а на лініях з напівавтоматичним блокуванням – час заняття перегону одним поїздом і станційного інтервалу попутного прямування.

Пропускна спроможність при паралельному графіку розраховується для кожного перегону [2]. Перегін з мінімальною пропускною спро-

можністю називається обмежуючим і визначає результативну пропускну спроможність ділянки в цілому.

Період графіка обмежуючого перегону при заданому часу ходу пари поїздів і певних станційних інтервалах може набувати різних значень залежно від порядку пропуску поїздів через роздільні пункти, які обмежують перегін.

Можливі чотири варіанти пропуску поїздів через роздільні пункти обмежуючого перегону, які зображено на рис. 2.1: обидва поїзди пропускаються на перегін без зупинки (рис. 2.1, а); обидва поїзди пропускаються без зупинки з перегону (рис. 2.1, б); непарні поїзди пропускаються безупинно через обидва перегони, які обмежують роздільні пункти (рис. 2.1, в); також пропускаються парні поїзди (рис. 2.1, г). У кожному разі пропуску поїздів через станції, які обмежують перегін, періоди графіка перегону відрізняються станційними інтервалами і додатковим часом на розгін та уповільнення.

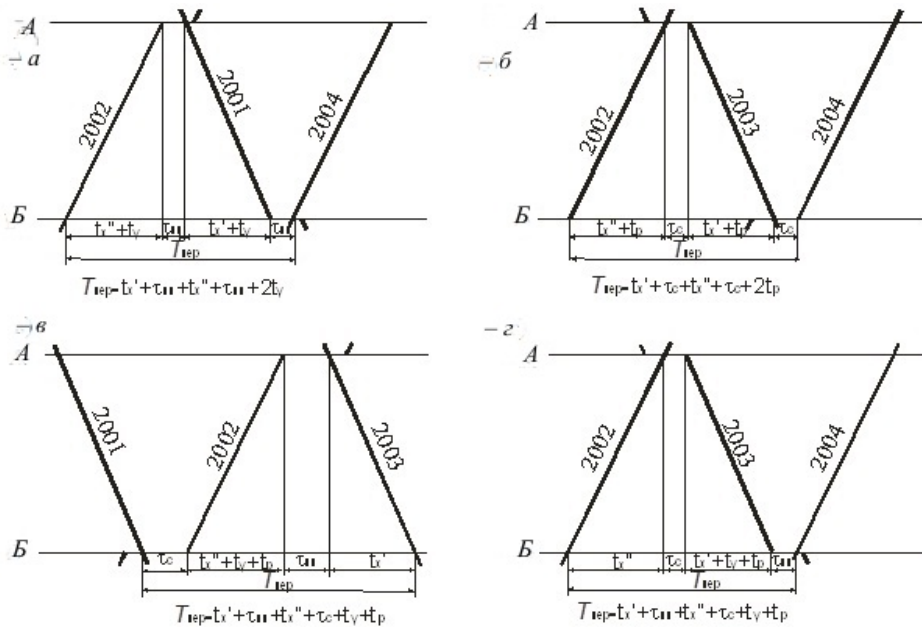


Рис. 2.1. Варіанти пропуску поїздів через роздільні пункти обмежуючого перегону

Пропускна спроможність розраховується, як правило, за варіантом, при якому сума станційних інтервалів і додаткового часу на розгін і уповільнення найменша. Однак, на вибір варіанта пропуску поїздів по станціях, що обмежують перегін, може впливати профіль колії на підходах до станцій. Так, якщо за роздільним пунктом А по ходу руху парного поїзда є затяжний підйом, то через цей роздільний пункт поїзд 2002 треба пропускати безупинно, отже, для перегону А–Б можуть бути за-

стосовані тільки схеми, наведені на рис. 2.1, б або на рис. 2.1, з. Наявність стоянок з технічними потребами на одній зі станцій, що обмежують цей перегін, також може зумовлювати схему пропуску поїздів через цю станцію.

Таким чином, пропускна спроможність обмежуючого перегону при звичайному графіку складе в парах поїздів

$$N = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{t'_x + t''_x + \tau_A + \tau_B + t_{\text{пу}}} \cdot \alpha_n, \quad (2.2)$$

де t'_x, t''_x – час ходу непарного та парного поїздів по перегону без урахування часу на розгін та уповільнення при зупинках, хв.;

τ_A, τ_B – станційні інтервали на станціях, що обмежують перегін, хв.;

$t_{\text{пу}}$ – додатковий час на розгін та уповільнення, що припадає на обидва поїзди, хв.

Пропускна спроможність за формулою (2.2) [2] зручно розраховувати лише при однотипному періоді графіка руху поїздів. У реальних умовах навіть при паралельному графіку порядок пропуску поїздів по перегонах протягом доби доводиться змінювати. Необхідність зміни послідовності пропуску поїздів викликається непарними розмірами руху за напрямками, доцільністю пачечної чи пакетної прокладки ліній ходу поїздів та іншими причинами. У цих умовах доводиться мати справу з різними періодами графіка протягом доби. У зв'язку з цим розраховувати пропускну спроможність зручніше за умовою

$$(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_n = \sum_{i=1}^n N_i \cdot T_i, \quad (2.3)$$

де N_i – поїзди (пари поїздів) з однотипною схемою пропуску по обмежуючому перегону;

$i = 1, 2, \dots, n$ – номери схем пропуску поїздів по обмежуючому перегону, що використовуються в графіку руху;

T_i – час доби, займаний поїздами цієї схеми.

Умовою (2.3) є баланс добового часу обмежуючого перегону, що був використаний для пропуску поїздів в різних схемах (порядок проходження по перегону). Виходячи з цієї умови, визначається пропускна спроможність при непарному звичайному, парному і непарному частково-пакетному графіках руху.

На одноколійних ділянках зі стійкою непарністю розмірів руху, коли кількість вантажних поїздів в одному напрямку становить менше 90 % кількості поїздів в іншому, пропускна спроможність визначається за непарним і непакетним графіком. Її розраховують для кожного напрямку окремо на задане відношення $\gamma_{\text{нп}}$ кількості зворотних поїздів $N_{\text{звор}}$ до кількості поїздів переважного напрямку $N_{\text{пр}}$.

Загальний добовий час заняття обмежуючого перегону (рис. 2.2, а) складається з проміжків часу, які повторюються: періодів парного графіка $T_{\text{пер}}$ і інтервалів часу між наступними попутними поїздами переважного напрямку $t_{\text{пр}} + t_{\text{п}}$.

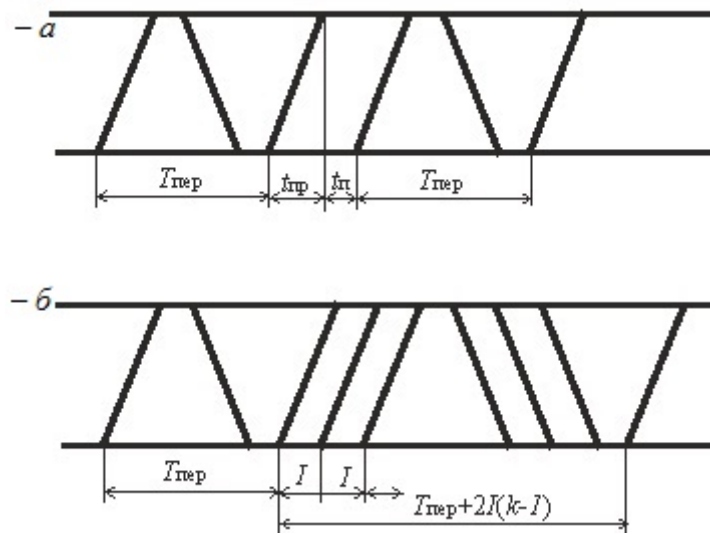


Рис. 2.2. Схеми пропуску поїздів по обмежуючому одноколійному перегону на графіку:
а – непарним непакетним; б – частково пакетним

Враховуючи, що кількість повторюваних періодів графіка за добу дорівнює кількості поїздів зворотного напрямку [10], а кількість інтервалів між попутними поїздами – різниці кількості поїздів за напрямками, отримаємо

$$(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}} = T_{\text{пер}} \cdot N_{\text{звор}} + (N_{\text{пр}} - N_{\text{звор}})(t_{\text{пр}} - \tau_{\text{п}}), \quad (2.4)$$

звідки

$$N_{\text{пр}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T_{\text{пер}} \cdot \gamma_{\text{нп}} + (t_{\text{пр}} - \tau_{\text{п}})(1 - \gamma_{\text{нп}})}. \quad (2.5)$$

Пропускна спроможність в зворотному напрямку складе

$$N_{\text{звор}} = N_{\text{пр}} \cdot \gamma_{\text{нп}} \quad (2.6)$$

При парному частково-пакетному графіку добовий час обмежуючого перегону (див. рис. 2.2, б) зайнято поїздами одиночної і пакетної прокладки. Баланс часу виражається умовою [10]

$$(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}} = T_{\text{пер}} \cdot (N_{\text{чп}} - N_{\text{пак}}) + \frac{N_{\text{пак}}}{k} [T_{\text{пер}} + 2 \cdot I \cdot (k - 1)] \quad (2.7)$$

де $N_{\text{чп}}$ – пропускна спроможність в парах поїздів при частково-пакетному графіку руху;

$N_{\text{пак}}$ – кількість пар поїздів, які прямують по обмежуючому перегону в пакетах;

$T_{\text{пер}}$ – період звичайного графіка, хв.;

I – інтервал між поїздами в пакеті, хв.;

k – кількість поїздів в одному пакеті.

Першим і другим додатком правої частини рівності (2.7) є частина часу доби, що займана для пропуску одиночних і пакетних поїздів відповідно.

Замінюючи в рівності (2.7) $N_{\text{пак}} = N_{\text{чп}} \cdot \alpha_{\text{п}}$ знайдемо пропускну спроможність

$$N_{\text{чп}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot k}{T_{\text{пер}} \cdot [k + (1 - k) \cdot \alpha_{\text{п}}] + 2 \cdot I \cdot (k - 1) \cdot \alpha_{\text{п}}} \quad (2.8)$$

Через великі простой поїздів під час схрещення пакетів між собою та їх обгону пасажирськими поїздами, а також у зв'язку з потребою у великій кількості додаткових станційних колій для забезпечення схрещення та обгону пакетів на практиці зазвичай обмежують кількість поїздів в пакеті двома. При двох поїздах в пакеті пропускна спроможність складе

$$N_{\text{чп}} = \frac{2(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{(2 - \alpha_{\text{п}}) T_{\text{пер}} + 2 \cdot I \cdot \alpha_{\text{п}}} \quad (2.9)$$

Для визначення умов підвищення пропускну спроможності при застосуванні частково-пакетного графіка [2] замість звичайного порівняємо вирази (2.9) і (2.2):

$$\frac{2(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{(2 - \alpha_{\text{п}})T_{\text{пер}} + 2 \cdot I \cdot \alpha_{\text{п}}} \geq \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T_{\text{пер}}}. \quad (2.10)$$

Звідси після перетворень отримаємо

$$T_{\text{пер}} \geq 2 \cdot I. \quad (2.11)$$

У середніх умовах роботи одноколійних ліній пропускна спроможність при частково-пакетному графіку і двох поїздах в пакеті [11] підвищується проти звичайного графіка на 15–20 % при $\alpha_{\text{п}} = 0,5$ і на 20–30 % при $\alpha_{\text{п}} = 0,67$. При значній неідентичності перегонів можливе збільшення на обмежуючому перегоні числа пакетів і кількості поїздів в пакеті, що дозволяє ще більше підвищити пропускну спроможність пакетного графіка. Формула для розрахунку пропускної спроможності при повному пакетному графіку може бути отримана з формули (2.9) підстановкою $\alpha_{\text{п}} = 1$. Однак треба звернути увагу, що можливий коефіцієнт пакетності графіка залежить від колійного розвитку роздільних пунктів ділянки. Застосування пакетного графіка повністю вимагає наявності не менше трьох колій на кожному роздільному пункті.

При непарному частково-пакетному графіку непарність досягається за рахунок застосування різного ступеня пакетності за напрямками. Баланс добового часу на перегоні виражається рівністю

$$(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}} = T_{\text{пер}} \cdot (N_{\text{пр}} - N_{\text{пр}}^{\text{пак}}) + \frac{N_{\text{пр}}^{\text{пак}}}{k_{\text{пр}}} [T_{\text{пер}} + (k_{\text{пр}} - 1)2 \cdot I] - I \cdot (N_{\text{пр}} - N_{\text{звор}}), \quad (2.12)$$

де $N_{\text{пр}}^{\text{пак}}$ – кількість поїздів переважного напрямку, що пропускаються по обмежуючому перегону в пакетах;

$k_{\text{пр}}$ – кількість поїздів в пакеті для переважного напрямку.

Від'ємником $I \cdot (N_{\text{пр}} - N_{\text{звор}})$ в рівності (2.12) є скорочення часу заняття перегону поїздами, які рухаються в пакетах порівняно з парним графіком.

Враховуючи те, що $N_{\text{звор}} = N_{\text{пр}} \cdot \gamma_{\text{нп}}$, $N_{\text{пр}}^{\text{пак}} = N_{\text{пр}} \cdot \alpha_{\text{п}}^{\text{пр}}$, $k_{\text{пр}} = 2$, після перетворень отримаємо

$$N_{\text{пр}} = \frac{2(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{\left(2 - \alpha_{\text{п}}^{\text{пер}}\right) T_{\text{пер}} \cdot + 2 \cdot I \cdot \left(\alpha_{\text{п}}^{\text{пер}} + \gamma_{\text{пп}} - 1\right)}, \quad (2.13)$$

де $\alpha_{\text{п}}^{\text{пер}}$ – коефіцієнт пакетності в переважному напрямку.

Пропускнун спроможність лінії з двоколійними вставками можна виразити залежно від середньої відстані між центрами двоколійних вставок $l_{\text{ц}}$ та середньої ходової швидкості $V_{\text{х}}$ ($t_{\text{техн}}$ виражається в годинах).

$$N_{\text{пр}} = \frac{(24 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{2 \cdot l_{\text{ц}}} V_{\text{х}}. \quad (2.14)$$

Під час організації беззупинкового схрещення пакетів поїздів на вставках збільшеної довжини, що представляють собою двоколійні перегони між роздільними пунктами, пропускна спроможність ділянки дорівнює

$$N_{\text{пр}} = \frac{(24 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{(2 - \alpha_{\text{п}}) \cdot l_{\text{ц}}} V_{\text{х}}, \quad (2.15)$$

де $l_{\text{ц}}$ – середня відстань між центрами двоколійних вставок, що забезпечують беззупинкове схрещення пакетів поїздів.

На двоколійних ділянках, які не обладнані автоблокуванням, застосовують пачковий графік. Час заняття поїздом обмежуючого перегону або тривалість періоду графіка $T_{\text{пер}}$ складається з часу ходу поїзда на перегоні $t_{\text{х}}$ (у відповідних випадках з урахуванням розгону або уповільнення) і інтервалу попутного прямування $\tau_{\text{пп}}$. Звідси пропускна спроможність в одному напрямку виражається

$$N = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{t_{\text{х}} + \tau_{\text{пп}}}. \quad (2.16)$$

На двоколійних ділянках, які обладнані автоблокуванням, застосовують пакетний графік. Час заняття поїздом обмежуючого перегону в цьому випадку дорівнює інтервалу в пакеті I , а пропускна спроможність в кожному напрямку складе

$$N = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{I}, \quad (2.17)$$

де I – інтервал між поїздами цього напрямку, який визначається як найбільший за умовами пропуску поїздів по перегонах і станціях, хв.

Формула (2.17) справедлива лише при інтервалах автоблокування 8 хв. і більше. При меншому інтервалі починає позначатися несинхронність руху поїздів. Відстань між ними постійно змінюється: поїзди зближуються та віддаляються. Причиною є різні характеристики елементів плану і профілю колії, на яких знаходяться поїзди, розподіл величин сили тяги і основного опору поїздів, обмеження електропостачання, різна кваліфікація машиністів. Крім того, під час розрахунку перегінного часу ходу приймається середнє значення опору руху (фактично воно може відхилитися на 35 %). Стандарти характеристик локомотивів також допускають відхилення сили тяги від номінальної на 4 %. Все це призводить до коливань ходової швидкості руху, і в результаті цього поїзди на ділянці не можуть дотримуватися встановленого періоду.

Надмірне зближення поїздів призводить до необхідності їх руху при жовтому вогні світлофора, що викликає гальмування і вже суттєве збільшення інтервалу.

Якщо розраховують пропускну спроможність електрифікованих ліній на постійному струмі, може з'явитися необхідність коригування часу ходу поїзда по обмежуючому перегону і інтервалу в пакеті між поїздами, що були отримані тяговими розрахунками при номінальному рівні напруги на струмоприймачі поїзда.

Пояснюється це тим, що при електричній тязі втрата напруги в контактній мережі залежить від кількості та маси поїздів, що рухаються між тяговими підстанціями. Через це фактичний час ходу поїзда по перегону $t_{\text{ф}}$ буде відрізняться від отриманого за тяговими розрахунками. Втрата напруги ΔU знаходиться в прямій залежності від розмірів руху і на двоколіїних лініях майже обернено пропорційна інтервалу між поїздами.

Контрольні запитання до блоку 2.2

1. Що називають періодом графіка на одноколіїних ділянках?
2. За яким варіантом розраховується пропускну спроможність на одноколіїних перегонах?
3. Що враховується як обмеження пакетного графіка двома поїздами в пакеті?
4. Що вимагає застосування цілком пакетного графіка руху поїздів?
5. Який перегін називається обмежуючим?

2.3. Розрахунок пропускної спроможності при непаралельному графіку

Розрахунок пропускної спроможності при непаралельному графіку [11] полягає в розподілі результативної пропускної спроможності ділянки, яку встановлено для паралельного графіка між поїздами різних категорій – пасажирськими, у тому числі приміськими та вантажними, в тому числі прискореними та збірними.

При непаралельному графіку пропускна спроможність для вантажного руху виражається кількістю вантажних поїздів заданої маси і швидкості, які можуть бути пропущені по ділянці або лінії під час обертання заданої кількості пасажирських, прискорених вантажних і збірних поїздів. Частина часу доби, яка через проходження зазначених поїздів не може бути використана для пропуску вантажних поїздів, називається часом зйому.

Пропускна спроможність для переважно вантажного руху (пар поїздів) виражається залежністю

$$N_{\text{ван}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}} \left[t_{\text{знім}}^{\text{пас}} \cdot N_{\text{пас}} + \dots + \left(t_{\text{знім}}^{\text{збір}} - T_{\text{пер}} \right) \times \right.}{T_{\text{пер}} \left. \times N_{\text{збір}} + \left(t_{\text{знім}}^{\text{прис}} - T_{\text{пер}} \right) \cdot N_{\text{прис}} \right]}, \quad (2.18)$$

де $N_{\text{пас}}$, $N_{\text{збір}}$, $N_{\text{прис}}$ – кількість пар пасажирських, збірних та прискорених поїздів відповідно;

$t_{\text{знім}}^{\text{пас}}$, $t_{\text{знім}}^{\text{збір}}$, $t_{\text{знім}}^{\text{прис}}$ – час зйому вантажних поїздів однією парою пасажирських, збірних і прискорених поїздів відповідно.

Ця залежність може бути подана в зміненому вигляді

$$N_{\text{ван}} = N - \varepsilon_{\text{пас}} \cdot N_{\text{пас}} - \varepsilon_{\text{збір}} \cdot N_{\text{збір}} - \varepsilon_{\text{прис}} \cdot N_{\text{прис}}, \quad (2.19)$$

де N – пропускна спроможність лінії по вантажному руху при паралельному графіку

$$N = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T_{\text{пер}}}. \quad (2.20)$$

$\varepsilon_{\text{пас}} = t_{\text{пас}} / T_{\text{пер}}$ – коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими;

$\varepsilon_{\text{збір}} = t_{\text{знім}}^{\text{збір}} / T_{\text{пер}}$ – коефіцієнт зйому вантажних поїздів збірними;

$\varepsilon_{\text{прис}} = t_{\text{знім}}^{\text{прис}} / T_{\text{пер}}$ – коефіцієнт зйому звичайних вантажних поїздів

прискореними.

На час зйому (коефіцієнт зйому) впливають чинники [11]:

– співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів;

– фіксування розкладів руху пасажирських поїздів, що обмежує можливості змін ліній їх ходу на графіку;

– кількість та розташування пасажирських поїздів на графіку;

– колійний розвиток роздільних пунктів ділянки;

– неідентичність перегонів ділянки;

– тип графіка руху поїздів.

Час зйому вантажних поїздів парю пасажирських складається з часу заняття перегону пасажирськими поїздами $t'_{\text{пас}} + t''_{\text{пас}}$, часу додаткового зйому $t_{\text{дод}}$, який був викликаний тим, що інтервал між двома суміжними в часі пасажирськими поїздами є некрatним часу заняття перегону вантажним поїздом: $t_{\text{знім}}^{\text{пас}} = t'_{\text{пас}} + t''_{\text{пас}} + t_{\text{дод}}$.

Час заняття перегону кожним пасажирським поїздом $t_{\text{пас}}$ складається з часу ходу його по перегону $t_{\text{пас}}$ та станційного інтервалу $\tau_{\text{ст}}$. Час додаткового зйому не може перевищувати часу заняття обмежуючого перегону вантажним поїздом; при кратності інтервалу між пасажирськими поїздами та часом заняття перегону вантажним поїздом додатковий злом є відсутнім.

Залежно від визначальних чинників коефіцієнт зйому, як і час зйому, підрозділяють на дві частини

$$\varepsilon_{\text{пас}} = \frac{t_{\text{знім}}^{\text{пас}}}{T_{\text{пер}}} = \frac{t'_{\text{пас}} + t''_{\text{пас}}}{T_{\text{пер}}} + \frac{t_{\text{дод}}}{T_{\text{пер}}} = \varepsilon_{\text{осн}} + \varepsilon_{\text{дод}}. \quad (2.21)$$

Величину $\varepsilon_{\text{пас}} = \frac{t'_{\text{пас}} + t''_{\text{пас}}}{T_{\text{пер}}}$ називають коефіцієнтом основного

зйому, а $\varepsilon_{\text{пас}} = t_{\text{дод}} / T_{\text{пер}}$ – коефіцієнтом додаткового зйому.

Коефіцієнт додаткового зйому практично може бути визначений тільки під час побудови графіка. Для орієнтовних розрахунків його визначають на основі статистичної обробки експериментальних даних чи виконаних графіків руху.

Контрольні запитання до блоку 2.3

1. Які чинники впливають на коефіцієнт зйому поїздів?
2. З чого складається час заняття перегону пасажирським поїздом?

2.4. Провізна спроможність залізничних ліній

Провізна спроможність залізничної лінії Γ , млн. т. нетто в рік, визначається в кожному напрямку окремо. Вона залежить від частки наявної пропускної спроможності лінії для вантажного руху $N_{\text{ван}}$, середньої маси поїзда на ділянці $Q_{\text{сер}}^{\text{бр}}$, співвідношення маси поїзда нетто і брутто φ , а також від кількості збірних і прискорених вантажних поїздів [8]

$$\Gamma = \frac{365 \left(N_{\text{ван}} \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{ван}} \cdot \varphi_{\text{ван}} + N_{\text{прис}} \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{прис}} \cdot \varphi_{\text{прис}} + N_{\text{збір}} \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{збір}} \cdot \varphi_{\text{збір}} \right)}{10^6 \cdot k_{\text{н}}}, \quad (2.22)$$

де $Q_{\text{бр}}^{\text{ван}}$, $Q_{\text{бр}}^{\text{прис}}$, $Q_{\text{бр}}^{\text{збір}}$ – середня маса брутто вантажних поїздів звичайних, прискорених та збірних відповідно, т;

$\varphi_{\text{ван}}$, $\varphi_{\text{прис}}$, $\varphi_{\text{збір}}$ – відношення маси поїзда нетто до маси брутто за відповідними групами вантажних поїздів;

$k_{\text{н}}$ – коефіцієнт місячної нерівномірності перевезень.

Як зазначено в формулі (2.2), провізну спроможність ділянки визначають максимальна інтенсивність потоку поїздів, їх середня маса і певною мірою конструкція рухомого складу. У свою чергу, ці величини залежать від багатьох технічних параметрів лінії: профілю колії, довжини станційних приймально-відправних колій, потужності локомотивів, ходової швидкості вантажних поїздів, структури поїздопотоків.

Профіль колії, довжина станційних колій і структура потоку по масі визначають при цьому типі локомотива максимально можливу масу поїзда. Однак, потужність локомотива може бути використана як на збільшення маси поїзда, так і на збільшення ходової швидкості. Відповідно до правил тягових розрахунків масу складу і швидкість руху поїзда визначають, виходячи з умов повного використання потужності і тягових якостей локомотиву.

Зі збільшенням маси [3] при інших рівних умовах знижується ходова швидкість і, отже, зменшується пропускна спроможність лінії і навпаки, яка з нею пов'язана. Вочевидь, що максимум провізної спроможності буде забезпечено при оптимальному співвідношенні маси і швидкості вантажних поїздів.

Середня маса поїзда $Q_{\text{сер}}^{\text{бр}}$ залежить від структури вантажного поїздопотоку за величиною поїзного погонного навантаження (рис. 2.3) і норми маси поїздів $Q_{\text{н}}$ [2]. Поїзне погонне навантаження, яке характеризує масу одного метра складу поїзда $p = Q_{\text{бр}}/l_{\text{с}}$, де $l_{\text{с}}$ – довжина складу поїзда, є універсальним показником, що пов'язує масу, довжину вантажних поїздів і їх структуру по масі.

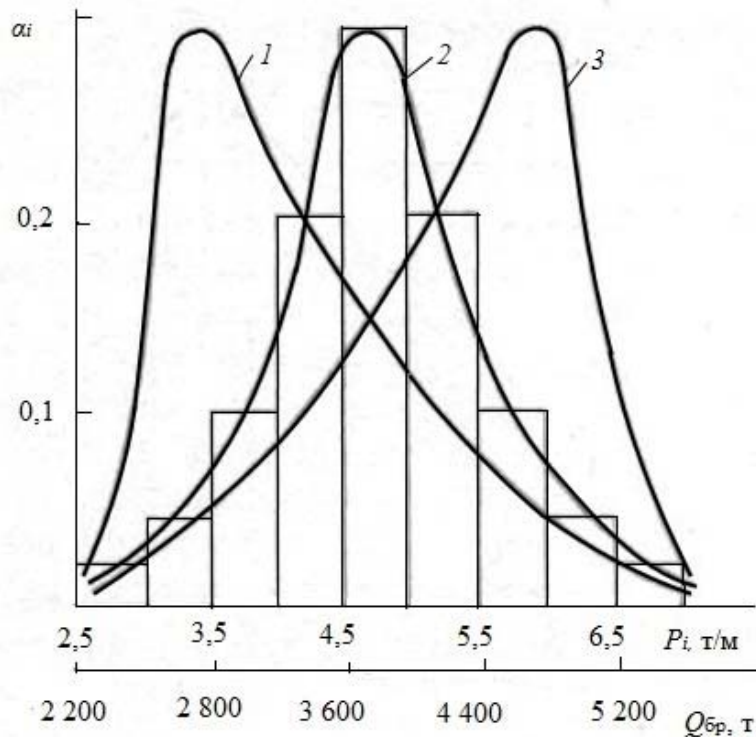


Рис. 2.3. Гістограма розподілу поїздопотоку за величиною поїзного погонного навантаження:
 1 – середнього за масою потоку; 2 – переважно легкого потоку;
 3 – переважно важкого потоку

На кожній лінії структура потоків буває відмінною від інших. На одних лініях немає яскраво вираженого переважання важкого та легкого потоків (див. рис. 2.3, крива 1). Тут розподіл погонних навантажень підпорядковано нормальному закону. Є лінії з яскраво вираженим переважанням легкого і порожнього потоків поїздів (див. рис. 2.3 крива 2) та вуглевозні та рудовозні магістралі з розподілом, який наведено на рис. 2.3, крива 3. Між середньою масою поїзда і нормою маси існує певний взаємозв'язок, який встановив проф. К. К. Тихонов:

$$Q_{\text{сер}}^{\text{бр}} = \frac{p^* (l_{\text{кор}} - 50)}{\sum_{i=1}^x \alpha_i + \frac{l_{\text{кор}} - 50}{Q_{\text{н}}} \sum_{i=x+1}^k \alpha_i \cdot p_i}, \quad (2.23)$$

де p^* – середньозважене погонне навантаження в заданій гістограмі розподілу (математичне очікування), т/м;

$l_{\text{кор}}$ – корисна розрахункова довжина станційних приймально-відправних колій, м;

50 – довжина колії, яка необхідна для локомотива і неточності установки складу, м;

$i = 1, 2, \dots, k$ – порядковий номер розряду (групи) гістограми;

α_i – ймовірність i -го розряду гістограми;

p_i – середнє значення погонного навантаження i -го розряду гістограми, т/м;

x – номер розряду гістограми з погонним навантаженням відповідної норми маси;

$Q_{\text{н}}$ – норма маси вантажних поїздів в цьому напрямку, т.

Залежність між $Q_{\text{сер}}^{\text{бр}}$ і $Q_{\text{н}}$ має тенденцію до насичення [2], причому чим легше потік, тим це насичення відбувається раніше (рис. 2.4, крива 1).

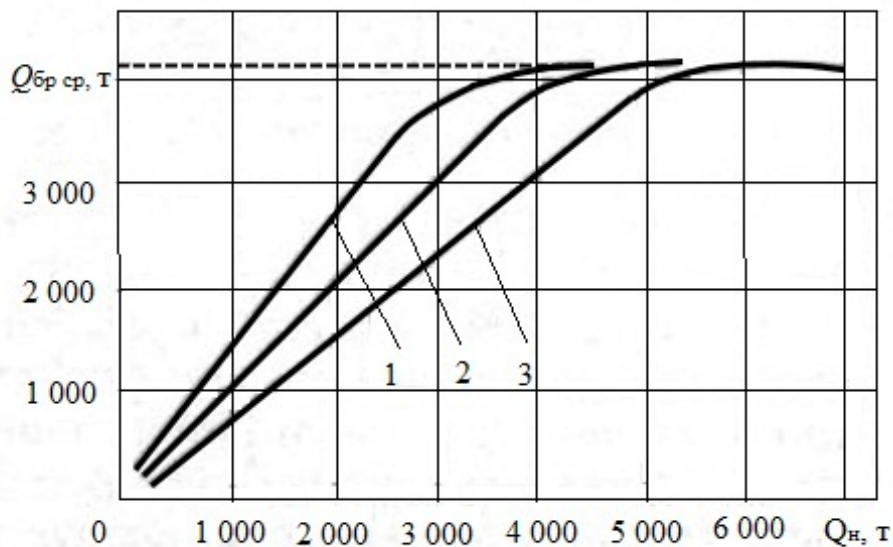


Рис. 2.4. Залежність середньої маси поїздів від норми маси при переважно легкому (1), середньому (2) та важкому потоках (3)

У свою чергу, навантаження вагонів на 1 м колії залежить від їх параметрів і якості використання

$$p = \frac{q_{\text{нав}} + q_{\text{тар}}}{l_{\text{в}}} = \frac{(k_{\text{ван}} + k_{\text{т}}) \cdot q_{\text{ван}}}{l_{\text{в}}}, \quad (2.24)$$

де $l_{\text{в}}$ – довжина вагона, м;

$q_{\text{нав}}$ – навантаження вагона, т;

$q_{\text{тар}}$ – маса тари вагона, т;

$k_{\text{ван}}$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності вагона,

$$k_{\text{ван}} = \frac{q_{\text{ван}}}{q_{\text{ваг}}}.$$

Відношення маси поїзда нетто до маси бруто визначається

$$\varphi = \frac{q_{\text{нав}}}{q_{\text{нав}} + q_{\text{тар}}} = \frac{k_{\text{ван}}}{k_{\text{ван}} + k_{\text{т}}}. \quad (2.25)$$

Величина φ залежить від типу вагонів [10], які обертаються на цій лінії, та структури вантажообігу. Для великовагових вантажів (вугілля, руда, метал, будматеріали), які перевозяться переважно в чотиривісних вагонах, $\varphi = 0,73 \div 0,96$, для легких вантажів – $\varphi = 0,6 \div 0,65$, в середньому по мережі залізниць – $\varphi = 0,66 \div 0,90$.

Таким чином, провізна спроможність лінії, млн т нетто в рік (без урахування вантажопотоку прискорених і збірних поїздів) може бути визначена за формулою

$$\Gamma = \frac{365 \cdot N_{\text{ван}} \cdot p^* (l_{\text{кор}} - 50) \varphi}{10^6 \cdot k_{\text{н}} \left(1 + \frac{k_{\text{т}}}{k_{\text{ван}}}\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^x \alpha_i + p_{\text{н}} \sum_{i=x+1}^k \alpha_i \cdot p_i\right)}. \quad (2.26)$$

Формула (2.26) показує, що провізна спроможність залежить від пропускної спроможності лінії, довжини станційних колій та вантажопідйомності вагонів. Звідси виходить, що підвищення вантажопідйомності вагонів та краще їх використання з метою збільшення погонного навантаження вагонів при цій довжині станційних колій є найважливішими умовами збільшення провізної спроможності залізниць, скорочення потреби в подовженні колій і зниження собівартості

перевезень. Крім того, правильно обрана норма маси також суттєво впливає на провізну спроможність [2], що наведено на рис. 2.5.

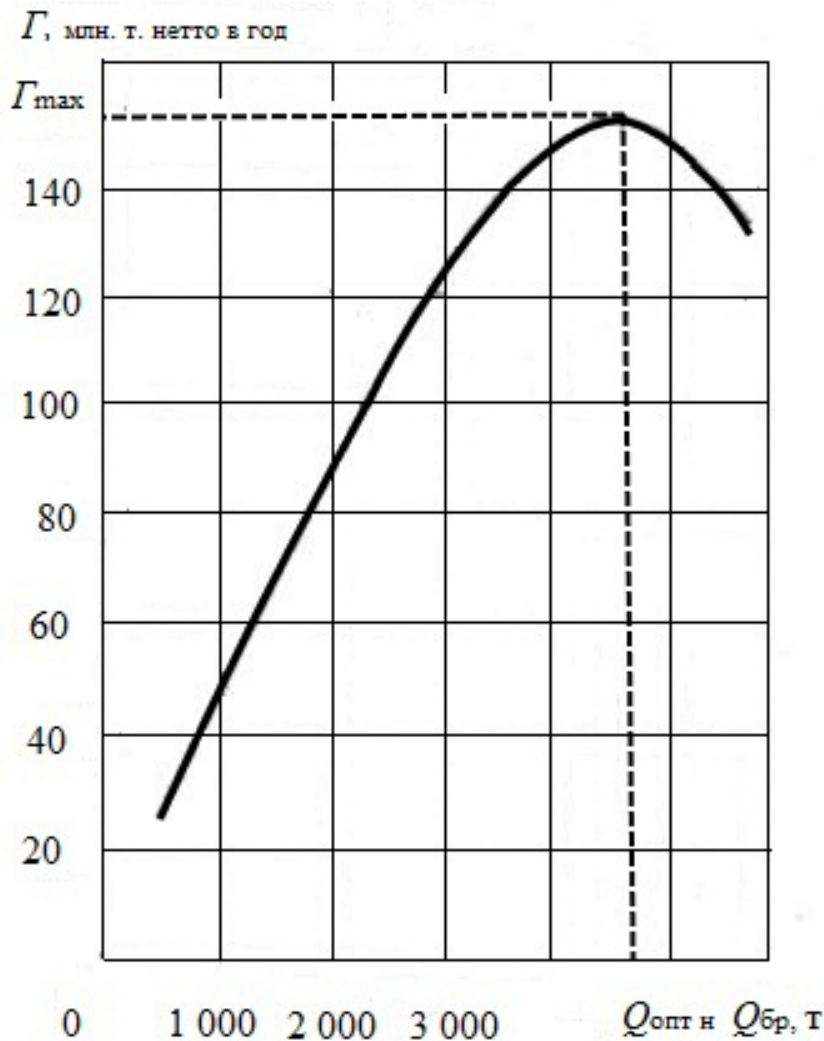


Рис. 2.5. Залежність провізної спроможності дільниці від норми маси поїздів

З рис. 2.5 видно, що прагнення до максимально великих норм маси вантажних поїздів може привести до зниження провізної спроможності.

Контрольні запитання до блоку 2.4

1. Від чого залежить провізна спроможність залізничної лінії?
2. Що робиться з ходовою швидкістю при збільшенні маси вантажного поїзда та при інших рівних умовах?

3. ЗАДАЧА ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТКУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

3.1. Визначення потреби в посиленні пропускної спроможності ліній

Заходи з опанування майбутніми вантажними та пасажирськими перевезеннями вибирають, зіставляючи потрібну і наявну пропускну спроможність, а також оцінюючи ефективність різних видів і рівнів технічного оснащення залізниці залежно від ступеня завантаження вантажо- та пасажиропотоками [12, 13, 14].

Спочатку визначають потрібну пропускну спроможність і розраховують технічно можливий термін роботи лінії (ділянки) до проведення першого заходу щодо посилення наявної пропускної спроможності. Цей термін t_T визначається з умови рівності потрібної Γ_{Π} і наявної Γ_H провізної спроможності лінії [2] (рис. 3.1).

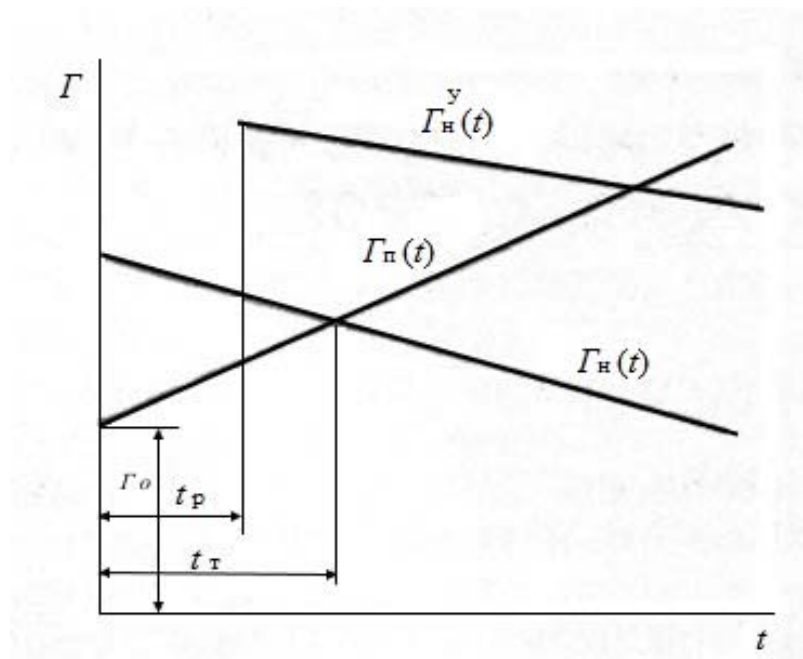


Рис. 3.1. Залежність потрібної і наявної провізної спроможності від терміну експлуатації лінії

Залежність $\Gamma_{\Pi}(t)$ — потрібної провізної спроможності (очікуваний вантажопотік у вантажному напрямку), та $\Gamma_H(t)$ — наявної провізної спроможності, яка з роками зменшується через зростання обсягу пасажирських перевезень, а також збільшення вантажопотоку, опановується прискореними і збірними поїздами. Потрібну провізну спроможність встановлюють планом або прогнозом на тривалі терміни перевезень,

враховуючи їх нерівномірність по місяцях року. Для місяця з найбільш інтенсивними вантажними перевезеннями вона складе

$$\Gamma_{II}(t) = (\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t) k_H^{\text{ван}}, \quad (3.1)$$

де Γ_0 – вантажопотік у вантажному напрямку вихідного року експлуатації лінії, т;

ε – середньорічний приріст вантажопотоку, т;

$k_H^{\text{ван}}$ – коефіцієнт місячної нерівномірності вантажних перевезень, рівний відношенню максимальних перевезень за місяць до середньомісячних ($k_H^{\text{ван}} > 1$).

Наявна провізна спроможність дорівнює [2]

$$\Gamma_H(t) = 365 Q_{\text{бр}} \cdot \varphi \left\{ \left[n_{\text{max}} \cdot \beta_p - \varepsilon_{\text{пс}} \cdot n_{\text{пс}}(t) - \varepsilon_{\text{зб}} \cdot n_{\text{зб}}(t) - \varepsilon_{\text{пр}} \cdot n_{\text{пр}}(t) \right] + \right. \\ \left. + \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{зб}}}{Q_{\text{бр}}} n_{\text{зб}}(t) + \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{пр}}}{Q_{\text{бр}}} n_{\text{пр}}(t) \right\}, \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{бр}}$, $Q_{\text{бр}}^{\text{зб}}$, $Q_{\text{бр}}^{\text{пр}}$ – середня маса бруто вантажного, збірною і прискореного поїздів відповідно залежно від можливих обмежень за довжиною станційних колій і через уніфікації норм маси на напрямку, т;

φ – відношення маси складу нетто Q_H і бруто $Q_{\text{бр}}$;

n_{max} – максимальна пропускна спроможність лінії в парах вантажних поїздів при паралельному графіку;

$n_{\text{пс}}$, $n_{\text{зб}}$, $n_{\text{пр}}$ – кількість на добу пар поїздів пасажирських, збірних та прискорених відповідно;

$\varepsilon_{\text{пс}}$, $\varepsilon_{\text{зб}}$, $\varepsilon_{\text{пр}}$ – коефіцієнти зйому вантажних поїздів пасажирськими, збірними та прискореними відповідно;

β_p – коефіцієнт резерву пропускної спроможності.

Резерв пропускної спроможності є необхідним для надання «вікон» в графіку під час виконання будь-якого роду ремонтних робіт (колій, пристроїв електропостачання), а також для опанування розмірів руху у разі їх відхилення від середньодобових в місяць максимальних перевезень [15].

В орієнтовних передпроектних розрахунках його величину задають коефіцієнтами: зазвичай 0,85 – на одноколійних, 0,91 – на двоколійних лініях і 0,87 – на ділянках з двоколійними вставками [10].

Добові розміри руху пасажирських поїздів залежать від пасажиропотоку та розраховуються за формулою [2]

$$n_{\text{пс}}(t) = \frac{k_{\text{н}}^{\text{пс}} (A_0 + \Delta A \cdot t)}{365 \alpha_{\text{ср}}}, \quad (3.3)$$

де A_0 – пасажиропотік вихідного року в одному напрямку;

ΔA – середньорічний приріст пасажиропотоку;

$\alpha_{\text{ср}}$ – середньозважена населеність одного пасажирського поїзда;

$k_{\text{н}}^{\text{пс}}$ – коефіцієнт місячної нерівномірності пасажиропотоку.

Прийнявши у формулі (3.3)

$$\frac{k_{\text{н}}^{\text{пс}} \cdot A_0}{365 \alpha_{\text{ср}}} = n_0^{\text{пс}} \quad \text{та} \quad \frac{k_{\text{н}}^{\text{пс}} \cdot A_0}{365 \alpha_{\text{ср}}} = n_{\Gamma}^{\text{пс}} \cdot t,$$

а кількість збірних і прискорених поїздів постійним до виконання першого заходу, отримаємо розрахункову умову для визначення t_{Γ}

$$(\Gamma_0 + \varepsilon t) k_{\text{н}}^{\text{ван}} = 365 Q_{\text{бр}} \cdot \varphi \left\{ \begin{array}{l} \left[n_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{р}} - \varepsilon_{\text{пс}} (n_0^{\text{пс}} + n_{\Gamma}^{\text{пс}} \cdot t) - \right. \\ \left. - \varepsilon_{\text{зб}} \cdot n_{\text{зб}} - \varepsilon_{\text{пр}} \cdot n_{\text{пр}} \right] + \\ \left. + \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{зб}}}{Q_{\text{бр}}} n_{\text{зб}} + \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{пр}}}{Q_{\text{бр}}} n_{\text{пр}} \right\}. \quad (3.4)$$

Звідки

$$t_{\Gamma} = \frac{365 Q_{\text{бр}} \cdot \varphi \left[\begin{array}{l} n_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{р}} - n_0^{\text{пс}} \cdot \varepsilon_{\text{пс}} - n_{\text{зб}} \times \\ \times \left(\varepsilon_{\text{зб}} - \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{зб}}}{Q_{\text{бр}}} \right) - n_{\text{пр}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пр}} - \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{пр}}}{Q_{\text{бр}}} \right) \end{array} \right] - \Gamma_0 k_{\text{н}}^{\text{ван}}}{\varepsilon \cdot k_{\text{н}}^{\text{ван}} + 365 Q_{\text{бр}} \varphi n_{\Gamma}^{\text{пс}} \varepsilon_{\Gamma}^{\text{пс}}}. \quad (3.5)$$

При значній нерівності вантажопотоків у вантажному та зворотному напрямках кількість поїздів слід визначати з урахуванням обертання порожніх складів.

Технічно можливий термін роботи лінії без посилення пропускної спроможності в цьому випадку встановлюють [12], враховуючи непарність графіка руху на одноколійних лініях та окремо в кожному напрямку на двоколійних лініях. Таким чином, для сталої роботи лінії її наявна пропускна спроможність повинна бути збільшена до раціонального рівня не пізніше терміну t_T . Тоді в рік t_T вона використовується повністю та залишається лише мінімально необхідний резерв.

З економічної точки зору може бути доцільним збільшити пропускну спроможність раніше терміну t_T . Раціональний термін t_P встановлюється тоді техніко-економічними розрахунками в комплексі з вибором способу посилення (в загальному випадку – системи заходів з оволодіння перевезеннями).

Контрольні запитання до блоку 3.1

1. Завдяки чому вибирають заходи з опанування майбутніми вантажними і пасажирськими перевезеннями?
2. Для чого є необхідним резерв пропускної спроможності лінії?

3.2. Способи посилення пропускної та провізної спроможностей та основи їх вибору

Провізну і пропускну спроможності лінії можна збільшити за рахунок підвищення маси поїзда та збільшення розмірів руху.

Найбільш ефективні комплексні рішення – це збільшення маси поїзда та пропускної спроможності в поїздах [14, 15, 16]. Для вивчення техніко-економічних характеристик способів посилення пропускної та провізної спроможностей лінії умовно розрізняють заходи, які збільшують провізну спроможність при тих же розмірах руху, і заходи, які збільшують пропускну спроможність в поїздах при тій же масі. До першої групи заходів (збільшення маси) відносяться:

- збільшення потужності локомотивів, що використовується для підвищення норм маси поїздів (заміна локомотива більш потужним, подвійна тяга, підштовхування);
- подовження станційних колій з одночасним посиленням тяги або поліпшенням використання існуючих локомотивів;
- організація руху блок-поїздів з різними схемами формування локомотивів і складів;
- ущільнення навантаження і використання великовантажних вагонів;
- пом'якшення профілю колії та зменшення опору руху.

До другої групи заходів (збільшення кількості поїздів) належать:

- збільшення ходових швидкостей руху;
- зменшення довжини перегонів;
- удосконалення пристроїв автоматики і зв'язку;
- ущільнення графіка руху поїздів (частково-пакетний рух, організація руху подвоєних поїздів, зниження зйому вантажних поїздів пасажирськими та ін.);
- спорудження додаткових головних колій (другі колії на окремих перегонах та суцільні, двоколіїні вставки для беззупинкових схрещень і обгонів поїздів та ін.).

Одним з найбільш ефективних комплексних заходів є заміна теплової тяги електричною [2, 17], при якому завжди суттєво збільшуються швидкості руху і в певних умовах підвищується маса поїзда. Поряд з пропускну та провізною спроможностями перегонів в необхідних випадках ще збільшують пропускну спроможність інших елементів комплексу технічних пристроїв залізничної лінії: станцій, пристроїв електропостачання, локомотивного господарства, залізничної колії.

Слід зазначити, що опанувати зростаючі перевезення можна не тільки збільшуючи наявну провізну спроможність, а й скорочуючи потрібну, раціоналізуючи транспортні зв'язки між регіонами в умовах ринку.

До вибору способів посилення пропускну та провізною спроможностей необхідно вжити заходи щодо усунення нераціональних перевезень, правильного розподілу вантажопотоків між різними видами транспорту, а також максимального скорочення сезонної, місячної та добової нерівномірностей роботи. Способи збільшення пропускну та провізною спроможностей залізниць необхідно вибирати, цілком оцінюючи їх технічні, експлуатаційні та економічні показники. Під час цієї розробки заходів, які вимагають суттєвих капітальних витрат, треба розглянути можливості поліпшення використання наявних технічних засобів, застосування передових методів та прийомів праці, пошук резервів.

Заходи щодо збільшення провізною спроможності умовно поділяють на організаційно-технічні, які не потребують великих капітальних вкладень і значного часу на здійснення, та реконструктивні.

До перших відносяться: скорочення станційних інтервалів, з'єднання поїздів для пропуску по окремих перегонах або ділянках, зміна типу графіка, застосування підштовхування та часткової подвійної тяги та ін.; до других – подовження станційних колій на напрямках, зміна виду тяги, спорудження додаткових головних колій на перегонах та ін. Останні

пов'язані з великими обсягами будівельно-монтажних робіт і вимагають порівняно тривалих термінів здійснення.

У зв'язку з тим, що обсяг вантажних і пасажирських перевезень збільшується найчастіше безперервно, а рівень наявної пропускної та провізної спроможностей ліній можна збільшити, як правило, дискретно (ступенями), найбільш ефективним є поетапне здійснення заходів [2, 17]. При цьому необхідно вибрати таку їх послідовність (з числа технічно можливих) і такі терміни експлуатації лінії між суміжними заходами, при яких сумарні витрати, що пов'язані з опануванням перевезеннями, були б мінімальними. На рис. 3.2 [18] наведено, що при заданому вантажопотоку $\Gamma_{\Pi}(t)$ послідовне проведення кожного із заходів збільшує наявну провізну спроможність до рівня $\Gamma_{Hi}(t)$.

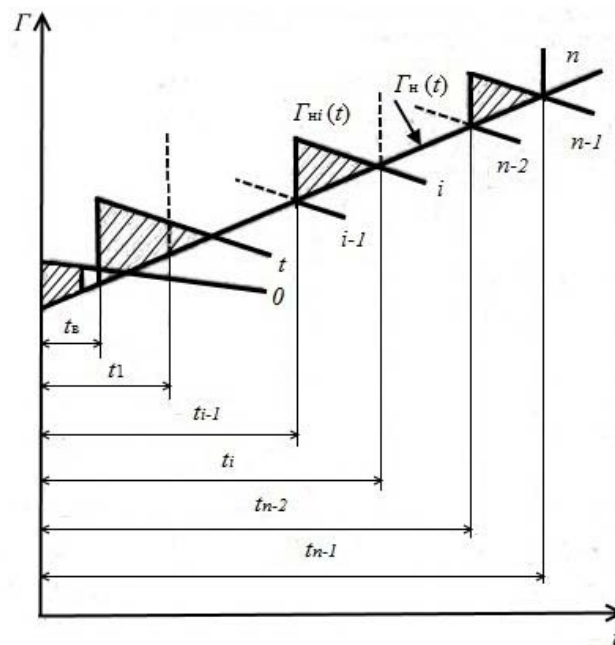


Рис. 3.2. Діаграма етапного оволодіння перевезеннями на лінії

Заштрихована площа на діаграмі означає запас провізної спроможності на перегонах понад необхідного резерву. Заходи здійснюються в терміни $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}$. Етапи – це періоди експлуатації лінії між суміжними заходами.

Щоб оптимізувати етапне посилення пропускної спроможності лінії, розробляють економіко-математичну модель розвитку її технічного оснащення та виконання зростаючих в перспективі перевезень. У загальному вигляді цю модель можна отримати таким чином (див.

рис. 3.2). Дано кожному з можливих на лінії n заходів порядковий номер $i=1, 2, \dots, n$. Здійснення того чи іншого заходу означає зміну відповідного йому параметра – показника технічного оснащення лінії. При подовженні станційних колій змінюється їх довжина $\Delta l_{\text{ст}}$, при введенні пакетного графіка – коефіцієнт пакетності $\alpha_{\text{пак}}$. Позначимо відповідні заходам параметри: $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$. Кожен захід і зміна кожного параметра буде здійснено на лінії один раз в термін t_i . Таким чином, елементами рішення, які треба знайти, є вектори значень [18] параметрів лінії

$$\bar{l} = (l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n)$$

і термінів їх зміни

$$\bar{t} = (t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n).$$

Зміна параметрів лінії вимагає одноразових капітальних витрат, які залежать від вектору їх значень: $K_i = K_i(\bar{l})$.

Наведені до річних сумарні витрати на лінії [19, 20], які змінюються в результаті зростання перевезень та посилення пропускної спроможності, залежать від значень параметрів, які характеризують технічне оснащення, і термін експлуатації лінії: $E = E(\bar{l}, t)$.

Сумарні модифіковані витрати, які пов'язані з проведенням усіх заходів і здійсненням перевезень на весь період, складуть

$$E_c = \sum_{i=1}^n \frac{K(\bar{l})}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_i}} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{E(\bar{l}, t)}{(1 + E_{\text{нп}})^i}, \quad (3.6)$$

де $E_{\text{нп}}$ – нормативний коефіцієнт наведення витрат.

Після цього потрібно знайти варіант з мінімальними витратами під час виконання на кожному етапі умови $\Gamma_{\text{п}}(t_i) \leq \Gamma_{\text{ні}}(\bar{l}, t)$; $i=1, 2, \dots, n$. Це означає, що наявна провізна спроможність $\Gamma_{\text{н}}$ завжди повинна бути вище або дорівнювати потрібної $\Gamma_{\text{п}}$.

Щоб перетворити подану в загальному вигляді економіко-математичну модель етапного оволодіння перевезеннями в розрахункову і вибрати метод її оптимізації, необхідно встановити залежності перевізних витрат від показників технічного оснащення лінії. Слід також

виявити взаємозв'язок показників технічного оснащення, їх вплив на порівняльну ефективність способів посилення ліній в різних умовах.

Контрольні запитання до блоку 3.2

1. Як умовно поділяються способи посилення пропускної та провізної спроможностей лінії?
2. Які заходи застосовуються для збільшення маси поїздів?
3. Які заходи застосовуються для збільшення кількості поїздів?
4. Які заходи можливо віднести до способів посилення пропускної та провізної спроможностей?
5. Як умовно поділяють заходи щодо збільшення провізної спроможності?

4. ВИБІР НОРМИ МАСИ ПОЇЗДА

4.1. Задача вибору норм маси вантажних поїздів

Норма маси вантажних поїздів – один з основних показників, який багато в чому визначає кількісну і якісну сторони експлуатаційної роботи залізниць і, перш за все, розміри руху, потужність локомотивів, корисну довжину станційних приймально-відправних колій, динамічну міцність зчеплених приладів і рами вагонів [2]. З нею пов'язані не тільки наявна пропускна і провізна спроможності залізничної лінії, а й певною мірою при заданому типі локомотива швидкість руху, отже, і потреба у вагонному та локомотивному парках для опанування заданого обсягу перевезень. Маса поїзда визначає і експлуатаційні вимоги до потужності колій та штучних споруд, параметрів технічного оснащення станцій, конструкцій вагонів і локомотивів, пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку. Таким чином, вибір раціональної маси поїзда є важливою та складною техніко-економічною задачею, яку тісно пов'язано зі збільшенням провізної спроможності залізниць. Якщо розглядати лише частину цієї проблеми, яка є найбільш тісно пов'язаною з пропускною і провізною спроможностями, в цьому випадку також через різноманітність умов розвитку і експлуатації ліній доводиться мати справу з широким колом задач.

Різноманітність умов визначають неоднорідність профілю колії в межах ділянок роботи локомотивів і структури вантажопотоків, з яких формують склади поїздів для однієї і тієї ж лінії, різноманітність типажу поїзних локомотивів, нерівномірність розподілу обсягів перевізної роботи на лініях мережі, а також темпів зростання або скорочення вантажних і пасажирських потоків. Крім того, обираючи оптимальні норми

маси, необхідно враховувати їх обмеження, з одного боку, силою тяги локомотива

$$Q_{\text{бр}} \leq \frac{F_{\text{к}} - P \cdot (\omega_0' + i_{\text{р}})}{\omega_0'' + i_{\text{р}}}, \quad (4.1)$$

а з іншого – потрібною довжиною приймально-відправних колій

$$Q_{\text{бр}} \leq p_{\text{max}} (l_{\text{пв}} - l_{\text{лок}}), \quad (4.2)$$

де $F_{\text{к}}$ – сила тяги локомотива;

P – маса локомотива, т;

ω_0', ω_0'' – основний питомий опір руху локомотива і вагонів відповідно;

$i_{\text{р}}$ – розрахунковий ухил, ‰;

p_{max} – погонне навантаження вагонів на колію, т/м;

$l_{\text{пв}}, l_{\text{лок}}$ – довжина приймально-відправних колій і локомотивів відповідно, м.

Взагалі можливо врахувати всі розглянуті раніше умови і обмеження під час постановки і рішення універсальної задачі – вибору оптимальної норми і середньої маси поїздів та тягового забезпечення перевізного процесу. Але поки що практично та в наукових дослідженнях доводиться розглядати окремі задачі цього комплексу [2]:

– встановлення найвигіднішої маси поїзда при заданому типі локомотива;

– вибору маси поїзда і типу локомотива;

– вибору маси поїзда, типу локомотива і довжини приймально-відправних колій;

– вибору оптимального варіанта організації часткової подвійної тяги та підштовхування;

– визначення умов ефективності формування поїздів з паралельними уніфікованими і диференційними нормами маси;

– підвищення пропускної спроможності і інтенсифікації поїзної роботи на основі формування блок-поїздів за схемами ЛСЛС, ЛСС, ЛЛСС, ЛССЛС та ін.

Контрольні запитання до блоку 4.1

1. Що визначає кількісну і якісну сторони експлуатаційної роботи залізниць?
2. Які експлуатаційні вимоги визначає маса поїзда?

4.2. Вибір маси вантажного поїзда при заданому типі локомотива

При заданому типі локомотива слід вирішити, як найбільш раціонально використовувати його потужність: доведенням маси поїзда до максимально можливої величини, обмеженою умовами (4.1) і (4.2), або встановленням меншої маси для збільшення швидкості руху. Розглянемо, як впливає маса поїзда і швидкість його руху на провізну спроможність лінії та основні техніко-економічні показники її роботи [8].

Провізна спроможність лінії ділянки визначають маса та кількість вантажних поїздів

$$\Gamma = 365 \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \phi \cdot n_{\text{ван}}. \quad (4.3)$$

Пропускна спроможність в поїздах для одноколійних ліній, які не обладнані автоблокуванням, дорівнює

$$n_{\text{ван}} = \frac{24 \cdot j}{2 \frac{l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau} = \frac{24 \cdot j \cdot v_x}{2l_{\text{ср}} + v_x \sum \tau}, \quad (4.4)$$

де $l_{\text{ср}}$ – середня відстань між роздільними пунктами, км;

v_x – ходова швидкість вантажних поїздів, км/год.;

j – коефіцієнт неідентичності перегонів;

$\sum \tau$ – частина періоду графіка, яка включає станційні інтервали і втрати часу на розгін та уповільнення, хв.

Від маси і швидкості поїздів провізна спроможність залежить таким чином

$$\Gamma = \frac{8760 \cdot Q_{\text{бр}} \cdot v_x \cdot \phi \cdot j}{2 \cdot l_{\text{ср}} + v_x \sum \tau}. \quad (4.5)$$

Звідси за критерієм провізної спроможності слід домагатися найбільшого значення виразу $Q_{\text{бр}} \cdot v_x$, відповідного раціональному значенню норми маси при заданому типі локомотива.

Щоб отримати цей результат, досліджуємо відомий з теорії тяги поїздів вираз

$$Q_{бр} \cdot v_x = \frac{F_k \cdot v_x}{\omega_0 + i_p} - P \cdot v_x. \quad (4.6)$$

На рис. 4.1 наведено гістограму фактичного та теоретичного (штрихова лінія) розподілу поїздопоток за погонним навантаженням [2].

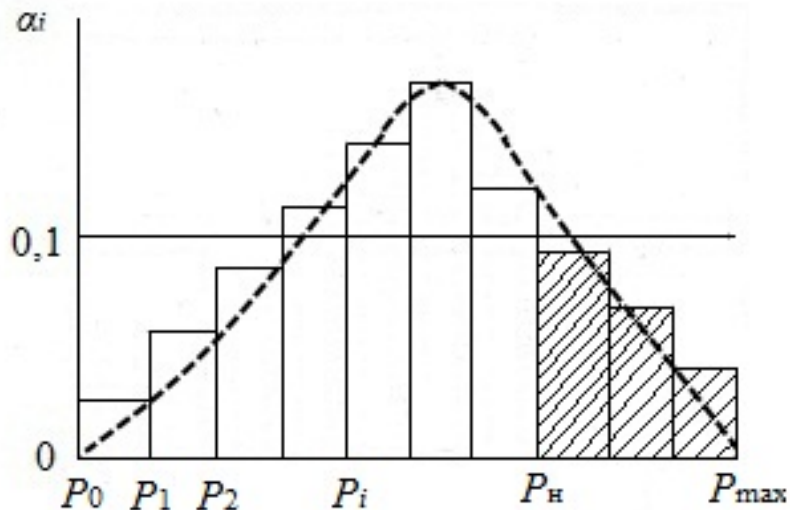


Рис. 4.1. Гістограма фактичного і теоретичного (штрихова лінія) розподілу поїздопоток за погонним навантаженням

Характеристикою структури вантажопотоку (при заданому плані формування поїздів) є його розподіл за величиною погонного навантаження (див. рис. 4.1). Поїзди з погонним навантаженням, яке є меншим ніж p_n , формують за довжиною колій повносоставними, але з неповною масою, а з навантаженням p_n і більше (заштрихована частина гістограми) – за нормою маси $Q_{бр}$, але неповносоставними. Це зменшує значення середньої маси поїзда.

При паралельному для вантажних поїздів графіку руху їх швидкість, а, отже, і пропускну спроможність лінії, встановлюють за потужністю локомотива і нормі маси, яка визначається довжиною колій і розрахунковим погонним навантаженням [14]

$$Q_{\text{бр}}^{\text{н}} = p_{\text{н}} \cdot (l_{\text{пв}} - l_{\text{лок}}), \quad (4.7)$$

де $p_{\text{н}}$ – погонне навантаження, яке розмежовує повноскладні і повновагові поїзди, т/м.

При тепловозній тязі потужність локомотива $F_{\text{к}} \cdot v_{\text{х}}$ в широкому діапазоні швидкостей майже постійна, а із збільшенням швидкості збільшуються опір руху ω_0 та від'ємник $P \cdot v_{\text{х}}$. Можна вважати, що найбільша продуктивність тепловозів, а, отже, максимальна провізна спроможність лінії та найменша собівартість перевезень досягаються під час використання потужності тепловозів для збільшення маси поїзда.

При електричній тязі це положення є тим більш справедливим, оскільки потужність електровозів із збільшенням швидкості зменшується. Отже, найвигідніша при цьому типі локомотива маса поїзда є обмеженою розрахунковою силою тяги або довжиною приймально-відправних колій. В цьому загальному правилі необхідно виділити виключення.

На рис. 4.2 наведено залежність середньої маси поїзда і провізної спроможності лінії від розрахункового навантаження при неоднорідній структурі вантажопотоку [2].

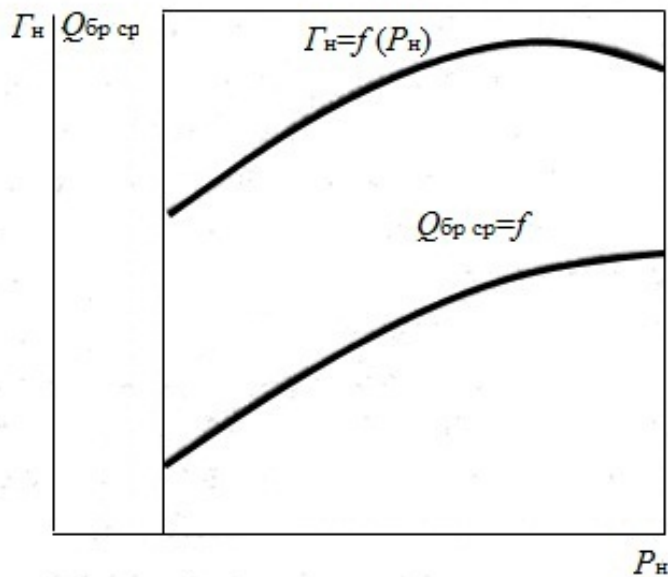


Рис. 4.2. Залежність середньої маси поїзда і провізної спроможності лінії від розрахункового навантаження при неоднорідній структурі вантажопотоку

У зв'язку з тим, що приріст середньої маси поїзда в цих умовах є обернено пропорційним збільшенню його норми, а зниження швидко-

сті руху поїздів через паралельності графіка поширюється на весь потік, зміна провізної спроможності набуває екстремального характеру. Як видно з рис. 4.2, середня маса поїзда помітно збільшується лише до певної межі відповідного погонного навантаження, при цьому провізна спроможність досягає максимуму. Подальше збільшення норми маси призводить до зменшення провізної спроможності лінії.

При значних розмірах пасажирського руху на двоколіїних лініях зменшення маси вантажних поїздів для наближення їх швидкості до швидкості пасажирських може зменшити зйом з графіка. Тоді найбільшу провізну спроможність лінії можна досягти при масі поїзда, дещо меншою максимально можливою за силою тяги або довжиною станційних колій.

При суттєво неоднорідній структурі вантажопотоку, коли масу поїздів на лінії обмежує довжина приймально-відправних колій, найбільша провізна спроможність не завжди відповідає максимально можливій за погонним навантаженням нормі маси. В цьому випадку оптимальну норму маси необхідно встановлювати за максимальною провізною спроможністю, враховуючи розподілення поїздопотоків за погонним навантаженням.

Контрольні запитання до блоку 4.2

1. Які задачі необхідно вирішити під час найбільш раціонального використання потужності заданого типу локомотива?
2. Що служить характеристикою структури вантажопотоку?
3. За рахунок чого можливо зменшувати коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими на двоколіїних лініях?

4.3. Вибір маси поїзда і типу локомотива

Найвигідніша маса поїзда і відповідний їй раціональний тип локомотива встановлюються за мінімумом перевізних витрат. У функції перевізних витрат є розриви в точках, відповідних до максимально можливої масі поїзда для різних типів локомотива [2].

Характер функції зображено на рис. 4.3, де криві E_1, E_2, E_3, E_4 відповідають реальним локомотивам типів 1, 2, 3 і 4, які можуть забезпечити ведіння поїздів з максимальними масами $Q_1^{\max}, Q_2^{\max}, Q_3^{\max}, Q_4^{\max}$ відповідно.

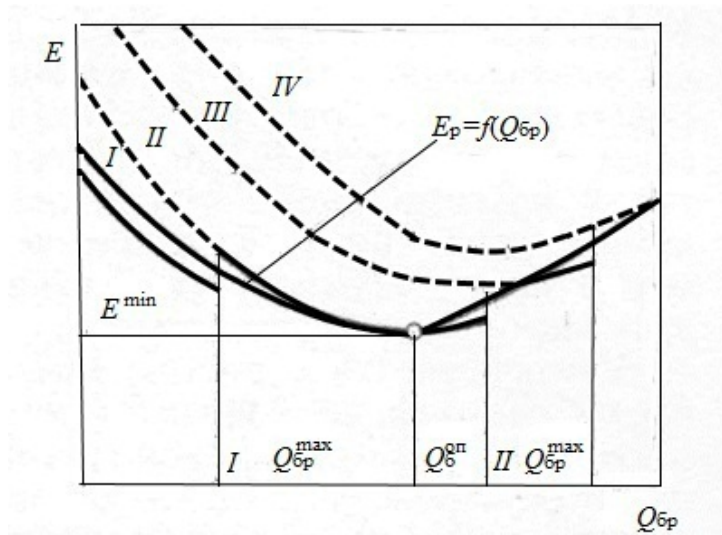


Рис. 4.3. Залежність перевізних витрат від маси поїзда

Для спрощення розрахунків реальні локомотиви можна замінити розрахунковими – умовними з постійною питомою потужністю на одиницю маси поїзда. У цьому випадку функція витрат становить $E_p = f(Q)$. Якщо потужність локомотива на одиницю маси поїзда є приблизно постійною, то для кожного виду тяги на одному і тому ж профілі середні ходові швидкості руху поїздів різної маси також є приблизно однаковими. При цьому витрати палива або енергії, які пов'язані з пересуванням поїздів, потрібна кількість вагонів, які знаходяться у русі, загальна потрібна потужність локомотивів на перевізну роботу і низка інших показників залишаються незмінними і їх можна не враховувати.

Правомірність цього прийому в межах необхідної точності рішення задачі підтверджується економічними розрахунками, які показують, що рівень найвигіднішої середньої швидкості руху для цього виду тяги небагато залежить від маси поїзда. З технічної точки зору цей прийом є виправданим тим, що при електричній і тепловозній тязі потужність можливо легко збільшити за рахунок зчленування локомотивів. Внаслідок цього при збільшенні маси практично можна здобути приблизну сталість питомої потужності (на 1 т маси поїзда або одиницю сили тяги).

Масу поїзда, якщо тип локомотива є невідомим, а його потужність збільшується пропорційно цій масі, вибирають на основі техніко-економічних розрахунків, в яких зіставляються витрати по групах, що стають дедалі менші і збільшуються з ростом маси поїзда. Зменшуються витрати на сплату локомотивних бригад як на одноколійних, так і на двоколійних лініях, що пов'язані із зупинками вантажних поїздів для схрещення на одноколійних і обгонів на двоколійних, а також із за-

тримками поїздів при наданні «вікон» в графіку для ремонтних робіт [18].

Крім того, скорочуються витрати на маневрову роботу – розформування і формування поїздів, на посилення пропускної спроможності ліній більш капіталомісткими заходами, тому що зі збільшенням маси поїзда терміни здійснення цих заходів віддаляються.

Із ростом маси поїзда збільшуються витрати, пов'язані із накопиченням вагонів і затримкою вантажів, на перебудову тягового господарства, посилення системи електропостачання та подовження станційних колій.

Залежно від конкретних умов ці групи витрат як складові критерію рішення задачі по-різному впливають на результат, вибір маси поїзда і типу локомотива. Однак у всіх випадках найбільш суттєво впливають дві групи витрат: на накопичення складів поїздів $E_{\text{нак}}$ та сплату локомотивних бригад $E_{\text{бр}}$. Облік цих двох груп витрат дає достатньо повне уявлення про рівень оптимальної маси вантажних поїзда в нормальних умовах експлуатації залізниці. Всі інші групи витрат слід відносити до критерію лише тоді, коли лінія працює в гранично напруженому або близькому до нього стані. Це необхідно перш за все для уточнення раціональних термінів переходу від одного рівня технічного оснащення до іншого, а також для вибору заходів форсованого посилення пропускної спроможності під час тимчасового збільшення завантаження ліній.

Річні витрати, грн., пов'язані з накопиченням вагонів і затримкою вантажів, визначаються за формулою [21]

$$E_{\text{нак}} = 2 \cdot 365 \cdot \kappa_{\text{пф}} \cdot c \cdot Q_{\text{бр}} \cdot C_{\text{т-год}}, \quad (4.8)$$

де $\kappa_{\text{пф}}$ – кількість призначень поїздів за планом формування в одному напрямку;

c – параметр накопичення, год.;

$C_{\text{т-год}}$ – витрати, пропорційні 1 т-год бруто вагонів, грн.

Річні витрати на оплату локомотивних бригад складають

$$E_{\text{бр}} = \frac{2 \cdot \Gamma \cdot L_{\text{бп}} \cdot C_{\text{бр-год}}}{\phi \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \beta_x \cdot v_x}, \quad (4.9)$$

де Γ – річний вантажопотік в одному напрямку, т;

$L_{\text{бп}}$ – середня відстань пробігу поїздів без переробки, км;

$C_{\text{бр-год}}$ – витрати, пропорційні 1 бригадо-год роботи локомотивних бригад, грн.

Найвигідніша маса поїзда за сумою витрат $E_p = E_{\text{нак}} + E_{\text{бр}}$ визначається з умови $dE/dQ = 0$

$$Q^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Gamma \cdot L_{\text{стп}} \cdot C_{\text{бр-год}}}{365 \cdot \kappa_{\text{пф}} \cdot c \cdot \phi \cdot \beta_x \cdot v_x \cdot C_{\text{т-год}}}} \quad (4.10)$$

Більш точно для конкретних умов оптимальну масу поїздів при заданій довжині станційних колій встановлюють не тільки одночасно, вибираючи найбільш ефективний тип поїзного локомотива, а й знаходячи їх раціональну розстановку по ділянках з неоднорідними профільними умовами. Найбільш часто на практиці необхідно збільшити силу тяги локомотивів в поїзному русі для більш повного використання довжини станційних колій і збільшення маси поїзда [2, 17]. Вирішення цього питання пов'язане з техніко-економічним порівнянням практично можливих варіантів з різною масою поїздів, ступенем використання довжини колій і потужності локомотивів. Щоб знайти граничні умови можливих рішень, будують залежності маси поїзда $Q_{\text{бр}}$ від розрахункового ухилу i_p при всіх можливих комбінаціях розстановки на лінії локомотивів більшої потужності, подвійної тяги і підштовхування, що наведено на рис. 4.4.

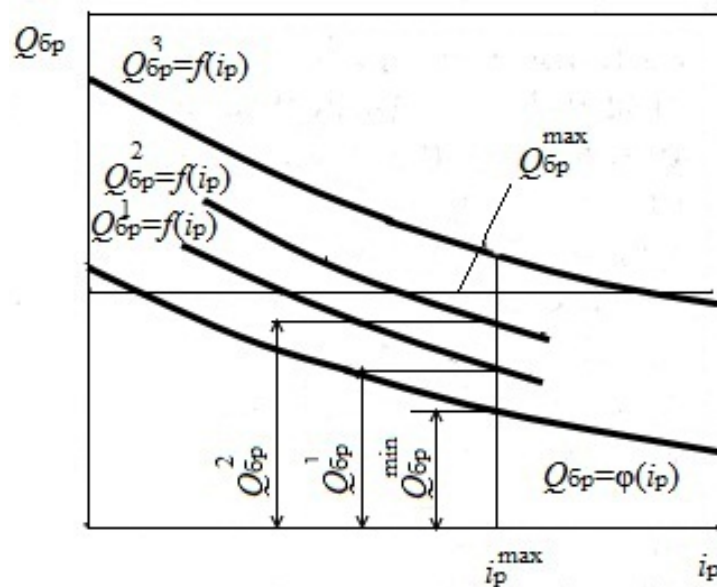


Рис. 4.4. Залежність маси поїзда від розрахункового ухилу

При цьому можливі такі варіанти:

– масу поїзда встановлюють за довжиною колій з локомотивом більшої потужності – $Q_{бр}^{max}$;

– масу поїзда встановлюють за силою тяги менш потужного локомотива – $Q_{бр}^{min}$,

– масу поїзда вибирають за варіантами в межах $Q_{бр}^{min} < Q_{бр} < Q_{бр}^{max}$.

Для цього локомотив із меншою потужністю доповнюється на окремих ділянках допоміжними локомотивами (підштовхування або частково подвійна тяга).

Перші два варіанти відповідають граничним умовам рішення задачі. При $Q_{бр}^{max}$ повністю використовується довжина колій, але потужність локомотива – частково, яка певною мірою реалізується за рахунок підвищення швидкості руху поїздів. У другому варіанті найбільш повно використовується сила тяги локомотива, але частково – довжина колій, в зв'язку з чим збільшуються розміри руху. Кількість варіантів третьої групи визначається можливими комбінаціями розстановки на лінії допоміжних локомотивів. Найбільш ефективні вони на лініях, де круті ухили профілю розташовані зосереджено, і кількість цих важких місць невелика. Використання допоміжних локомотивів на одному або декількох перегонах дозволяє, не знижуючи маси поїзда, більш ефективно використовувати силу тяги локомотивів по всій лінії. Як розрахунковий ухил виступає вже не той варіант, що найчастіше зустрічається в одиночній тязі, а той, на якому поїзди прямують одиночною тягою з менш потужними локомотивами. У кожному з проміжних варіантів встановлюють кількість перегонів з підштовхуванням (подвійною тягою) і загальну кількість локомотивів, які зайняті на підштовхуванні

$$M_T = \sum_{j:(i_j \geq i_{кр})} = M_j^T, \quad (4.11)$$

де M_T – кількість підштовхуючих локомотивів на лінії при цьому варіанті маси поїзда, типу локомотивів і їх розстановки;

M_j^T – потрібна кількість підштовхуючих локомотивів на перегоні j ;

i_j – найбільший ухил на перегоні j %;

$j = 1, 2, \dots, \kappa$ – порядковий номер перегону на лінії;

$i_{кр}$ – найбільший ухил, на якому цей локомотив або комбінація локомотивів забезпечують рух поїзда з постійною швидкістю і повним використанням сили тяги, ‰

$$i_{кр} = \frac{F_k - p \cdot \omega_0' - Q_{бр} \cdot \omega_0''}{Q_{бр} + P}. \quad (4.12)$$

У зв'язку зі зміною потужності локомотивів, яка використовується не тільки для збільшення маси поїзда, але й для підвищення швидкості руху, варіанти порівнюють за перевізними витратами, що включають всі види витрат, які залежать від маси та швидкості. Найвигіднішим буде варіант з мінімумом річних витрат, грн.

$$E_{пер} = \frac{\Gamma}{\phi \cdot Q_{бр}} [T \cdot C_{п-год} + R \cdot C_p + \kappa_{зуп} (t_{зуп} \cdot C_{п-год} + C_{ен}^{зуп})] + \\ + E_{нак} + 365 \cdot M_{п} \cdot C_{ут} + E_{н} \cdot \kappa_{під} + E_{під}, \quad (4.13)$$

де $\Gamma/\phi \cdot Q_{бр}$ – середньорічна кількість поїздів;

$C_{п-год}$ – витрати, які пропорційні кількості поїздо-год. в русі на одну пару поїздів, грн.;

$R \cdot C_p$ – витрати, які пропорційні механічній роботі на пересування однієї пари поїздів на лінії, грн.;

$\kappa_{зуп}$ – кількість зупинок поїздів для схрещень на одноколійних і обгонів на двоколійних лініях, які припадають на одну пару поїздів;

$t_{зуп} \cdot C_{п-год}$ – витрати, які пропорційні витратам часу під час зупинки для схрещення або обгону, грн.;

$C_{ен}^{зуп}$ – витрати, які пропорційні втратам енергії при зупинці, грн.;

$E_{нак}$ – річні витрати на накопичення складів поїздів, грн.;

$M_{п}$ – кількість підштовхуючих локомотивів, які необхідні на лінії в цьому варіанті;

$C_{ут}$ – вартість утримання штовхача без урахування механічної роботи, яка витрачається на його пересування, грн./добу;

$\kappa_{під}$ – капітальні витрати на організацію пунктів підштовхування на лінії та інші роботи (посилення контактної мережі та підстанціях, подовження колій та ін.), грн.;

$E_{н}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$E_{\text{під}}$ – річні експлуатаційні витрати на утримання пунктів підштовхування та інших в цьому варіанті додаткових пристроїв, грн.

Крім порівняння за витратами, варіанти зіставляють за натурними показниками (витратами енергії, швидкості, рухомому складу та ін.), а також за резервами пропускної спроможності, які дозволяють віддалити капітальні вкладення в подальше посилення технічного оснащення лінії.

Сфери ефективності підштовхування, як було виявлено в дослідженнях, є практично однаковими при електричній і тепловозній тягах. Кількість перегонів з підштовхуванням на лінії в раціональних варіантах не перевищує 20 %. Якщо необхідно відкрити більше пунктів підштовхування, доцільніше перейти до подвійної тяги на ділянках між технічними станціями. Аналіз залежностей витрат від маси поїзда в раціональних варіантах розстановки локомотивів на лініях показує, що, як правило, економічно вигідно масу поїздів збільшувати до дозволеної корисної довжини станційних колій. Таким чином, проблема раціональної маси поїздів під час зростаючого вантажопотоку найбільш повно вирішується в комплексі з оптимальною довжиною станційних колій.

Контрольні запитання до блоку 4.3

1. За яким критерієм встановлюється найвигідніша маса поїзда і відповідний їй раціональний тип локомотива?
2. Які експлуатаційні витрати зменшуються зі збільшенням маси вантажного поїзда?
3. Які експлуатаційні витрати збільшуються зі збільшенням маси вантажного поїзда?

4.4. Оптимальна довжина станційних колій

Оптимальну довжину приймально-відправних колій на лінії і відповідну їй найвигіднішу масу поїзда визначають за мінімумом модифікованих витрат [22], грн.

$$E_y = k_y + \sum_{t=1}^{t_k} \frac{\epsilon_y^c + E_y^{\text{нак}} + \epsilon_y^{\text{бр}}}{(1 + E_{\text{нп}})^t} + \sum_{t=1}^{\tau_y} \frac{E_y^{\text{зуп}}(t)}{(1 + E_{\text{нп}})^t} + \frac{k_{\text{др}}}{(1 + E_{\text{нп}})^{\tau_y}} + \sum_{t=\tau_y+1}^{t_k} \frac{\epsilon_{\text{дод}}}{(1 + E_{\text{нп}})^t}, \quad (4.14)$$

де E_y – зіставні наведені витрати на опанування перевезеннями на лінії за весь період: від початкового моменту до кінцевого розрахункового терміну t_k , грн.;

k_y – капітальні витрати на подовження станційних колій, грн.;

ϵ_y^c – річні витрати на утримання подовжених колій, грн.;

$E_y^{\text{нак}}$ – модифіковані річні витрати на накопичення поїздів, грн.;

$\epsilon_y^{\text{бр}}$ – річні експлуатаційні витрати на утримання локомотивних бригад, грн.;

$k_{\text{др}}$ – капітальні витрати на спорудження других головних колій (двоколійних вставок) на одноколійних та третіх колій на двоколійних лініях, які віддаляються на термін τ_y , грн.;

$E_y^{\text{зуп}}$ – модифіковані річні витрати, які пов'язані із зупинками поїздів, грн.;

$\epsilon_{\text{дод}}$ – річні витрати на утримання додаткових головних колій, грн.;

t – поточний рік експлуатації лінії;

t_y – термін роботи лінії з моменту подовження колій до спорудження додаткових головних колій, років;

$\frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t}$ – коефіцієнт віддалення витрат.

Віднесені на 1 км експлуатаційної довжини лінії капітальні витрати, що пов'язані із подовженням станційних колій, залежать від величини цього подовження [2]

$$k_y = \frac{l_y - l_y^0}{1000} \left(\frac{m_y^{\text{п}}}{l_{\text{сп}}} + \frac{m_y^{\text{д}}}{l_{\text{уч}}} \right) a_y^{\text{км}} + \frac{a_c}{l_c}, \quad (4.15)$$

де $l_y - l_y^0$ – подовження колій, м;

$m_y^{\text{п}}, m_y^{\text{д}}$ – кількість подовжуваних колій на проміжних і дільничних станціях відповідно;

l_c – відстань між сортувальними станціями, км;

$a_y^{\text{км}}$ – вартість подовження колій на проміжних і дільничних станціях, яка припадає на 1 км сумарної протяжності частин подовжених колій, які були знову споруджені, грн.;

$$a_y^{KM} = a_y' + \frac{l_y - l_{CT}^1}{l_{CT}^{III}} \delta a_y, \quad (4.16)$$

де a_y' – то й саме, що a_y^{KM} , але при подовженні колій тільки до першого стандарту (850 м), грн.;

δa_y – підвищення середньої вартості 1 км колії при подовженні колій до наступного стандарту, грн.;

l_{CT}^1 – довжина колій першого стандарту (850 м);

l_{CT}^{III} – «крок» стандартів довжин колій (200 м);

a_c – витрати на подовження всіх колій на сортувальних станціях, грн.;

$$a_c = a_c' + \frac{l_y - l_{CT}^1}{l_{CT}^{III}} \delta a_c, \quad (4.17)$$

де a_c' – вартість подовження колій на сортувальній станції до першого стандарту, грн.;

δa_c – збільшення загальної вартості подовження колій на сортувальній станції при подовженні колій до наступного стандарту, грн.

Річні експлуатаційні витрати на утримання додатково укладених колій розраховують за формулою [2]

$$E_y = \frac{l_y - l_y^0}{1000} \left(\frac{m_y^П}{l_{cp}} + \frac{m_y^Д}{l_{yч}} \right) e_y^{KM} + \frac{e_c}{l_c}, \quad (4.18)$$

де e_y^{KM} – річні витрати на утримання 1 км станційних колій, грн.;

e_c – збільшення річних витрат на утримання колій сортувальної станції, грн.

Річні витрати, які пов'язані із накопиченням поїздів, грн., визначають

$$E_{нак} = \kappa_{пф} \cdot c \cdot p \cdot (l_y - 50) \cdot C_{т-год}, \quad (4.19)$$

де $\kappa_{пф}$ – кількість призначень поїздів за планом формування;

c – параметр накопичення вагонів, год.;

$p \cdot (l_y - 50)$ – маса поїзда, т;

$C_{\text{Т-год}}$ – наведена вартість 1 т-год. простою вагонів, грн.

Кількість призначень поїздів за планом формування для одного напрямку складе

$$\kappa_{\text{пф}} = \left(0,26 + \frac{1550}{Q_{\text{бр}}} \right) \cdot \Gamma. \quad (4.20)$$

Отримаємо залежність витрат на накопичення поїздів від l_y :

$$E_y^{\text{нак}} = 0,73 \left[0,26 + \frac{1550}{p(l_y^0 - 50)} \right] \Gamma_0 \cdot c \cdot p \cdot (l_y - 50) \cdot C_{\text{Т-год}}. \quad (4.21)$$

Річні експлуатаційні витрати на утримання локомотивних бригад, грн., залежно від l_y і t

$$E_y^{\text{бр}} = \frac{2(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{p \cdot (l_y - 50) \cdot \phi \cdot v_x} C_{\text{б-год}} \cdot \alpha_{\text{бр}}, \quad (4.22)$$

де $C_{\text{б-год}}$ – вартість 1 бригадо-години локомотивних бригад, грн.;

$\alpha_{\text{бр}}$ – коефіцієнт, який враховує непоїзну роботу бригад.

Річні витрати, які пов'язані із зупинками поїздів [22]

$$E_y^{\text{зуп}} = \frac{2(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{p \cdot (l_y - 50) \cdot \phi} \left\{ \left(\frac{2}{v_{\text{діл}}(l_y, t)} - \frac{2}{v_x} \right) C_{\text{п-год}}(l_y) + \right. \\ \left. + 3,8 [P + p \cdot (l_y - 50)] v_{\Gamma}^2 \cdot C_{\epsilon} \cdot \kappa_{\text{зуп}}(l_y, t) 10^{-6} \right\}, \quad (4.23)$$

де $v_{\text{діл}}(l_y, t)$ – дільнична швидкість вантажних поїздів, яка залежить від довжини колії, маси поїзда і терміну експлуатації лінії, км/год.;

$\kappa_{\text{зуп}}(l_y, t)$ – кількість зупинок однієї пари вантажних поїздів на добу, яка припадає на 1 км довжини лінії;

v_{Γ} – середня швидкість початку гальмування вантажних поїздів під час зупинок, км/год.;

$C_{\text{п-год}}$ – наведена вартість 1 поїздо-години, грн.;

C_{ϵ} – витрати, які припадають на 1 т-км механічної роботи локомотива, грн.

Дільничну швидкість і кількість зупинок у функції довжини станційних колій та терміну експлуатації можливо отримати, використовуючи їх аналітичні залежності від кількості вантажних і пасажирських поїздів [19], якщо

$$n_{\text{ван}} = \frac{\kappa_{\text{H}}(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{365 \cdot \phi \cdot p \cdot (l_y - 50)}. \quad (4.24)$$

Для одноколійних ліній термін роботи з моменту подовження колій до наступного заходу (споруди других головних колій на перегонах) визначається з умови [19]

$$\frac{24j}{\frac{2l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau} = \beta_p \left[\frac{\kappa_{\text{H}}(\Gamma_0 + z \cdot \tau_y)10^6}{365 \cdot \phi \cdot p \cdot (l_y - 50)} + \varepsilon_y(n_{\text{пс}}^0 + n_{\text{пс}}^{\Gamma} \cdot \tau) \right]. \quad (4.25)$$

Лівою частиною умови подана максимальна пропускна спроможність обмежуючого перегону лінії в парах поїздів паралельного графіку, а правою – потрібна пропускна спроможність в наведених парах поїздів з урахуванням нерівномірності руху κ_{H} і резерву β_p . Після перетворень отримаємо

$$\tau_y = \frac{365 \cdot \phi \cdot p \cdot (l_y - 50) \left[24j - n_{\text{пс}}^0 \cdot \varepsilon_y \cdot \beta_p \left(\frac{2l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau \right) \right] - \kappa_{\text{H}} \cdot \Gamma_0 \cdot 10^6 \cdot \beta_p \left(\frac{2l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau \right)}{\beta_p \left(\frac{2l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau \right) [\kappa_{\text{H}} \cdot z \cdot 10^6 + 365 \cdot \phi \cdot p \cdot (l_y - 50) \cdot \varepsilon_y \cdot n_{\text{пс}}^{\Gamma}]}, \quad (4.26)$$

де $n_{\text{пс}}^0$, $n_{\text{пс}}^{\Gamma}$ – кількість пасажирських поїздів в початковий момент та їх річний приріст відповідно;

ε_y – коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими на одноколійній лінії;

$\sum \tau$ – сума часу розгону, уповільнення та станційних інтервалів в періоді графіка руху, год.

Для двоколійних ліній термін τ_y визначається аналогічним чином.

Як показують дослідження [2, 23], другі головні колії найбільш ефективно споруджувати в два етапи: двоколійні вставки для беззупинкових схрещень на першому і суцільну другу колію на другому. Таким чином, орієнтовно при мінімізації витрат E_y можна вважати, що подовженням колії на одноколійній лінії віддаляються спорудження половини другої головної колії.

Мінімум витрат E_y найзручніше знаходити графічно (рис. 4.5).

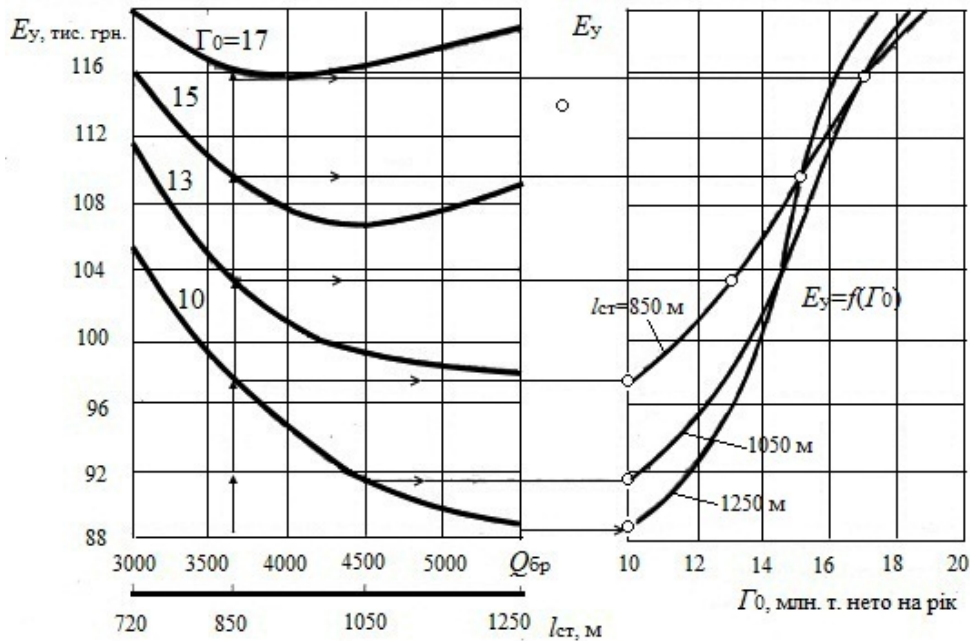


Рис. 4.5. Залежність сумарних наведених витрат від вихідного вантажопотоку і ступеня подовження колій

Мінімальні витрати відповідають різним стандартам довжин колій залежно від вихідного вантажопотоку, наприклад, від 10 до 14 млн т – 1 250 м, більше 16 млн т – 850 м. Пояснюється це тим, що ефект від подовження колій на одноколійній лінії реалізується більш тривалий час при менших вихідних потоках, ніж при значних (в цьому прикладі – понад 16 млн т), коли раціональний термін споруди двоколійних вставок є занадто близьким.

Розрахунки показують, що за різними умовами найвигідніша корисна довжина станційних колій на одноколійних лініях дорівнює 1 050–1 250 м і на двоколійних лініях – 850–1 050 м. Їй відповідають оптимальні норми маси поїздів від 4 до 6 тис. т залежно від вантажопотоку та погонного навантаження рухомого складу.

Контрольні запитання до блоку 4.4

1. Які витрати враховуються під час визначення оптимальної довжини приймально-відправних колій на лінії і відповідну їй найвигіднішу масу поїзда?
2. Як найбільш ефективно споруджувати другі головні колії?

5. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ХОДОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ГРАФІКА РУХУ ПОЇЗДІВ

5.1. Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямоків за рахунок збільшення ходових швидкостей рухомого складу

Пропускна спроможність підвищується завдяки збільшенню ходових швидкостей руху вантажних поїздів, що, в свою чергу, досягається за рахунок скорочення часу заняття перегонів та станційних інтервалів (зменшується період графіка) та виконується зближення швидкостей вантажних та пасажирських поїздів (зменшується зйом пропускної спроможності). Таким чином, досягається збільшення максимальної пропускної спроможності в парах поїздів паралельного графіка n_{\max} і зменшується коефіцієнт зйому $\varepsilon_{\text{ПС}}$ вантажних поїздів пасажирськими.

В особливому становищі перебувають двоколіїні лінії, які обладнані автоблокуванням. Тут період графіка (міжпоїзний інтервал) також залежить від швидкості, але лише в певних межах. Ці межі залежать від умов прийому поїздів на станції, які для сучасних вантажонапружених ліній мережі складають 6–7 хв. Подальше зниження інтервалу вимагає крім підвищення швидкості зміни конструкцій вхідних горловин парків прийому на технічних станціях, а також укладання стрілочних переводів з більш пологими марками хрестовин на проміжних станціях.

Збільшення швидкостей руху вантажних поїздів має велике значення, оскільки це прискорює доставку і забезпечує краще збереження вантажів, покращує оборот рухомого складу і підвищує продуктивність роботи локомотивних бригад. Рівні швидкостей руху поїздів значною мірою визначаються вимогами до конструкцій верхньої будови колії та штучних споруд, параметрами локомотивів і вагонів, пристроями автоматики, телемеханіки та зв'язку на перегонах і станціях та ін. Тому при техніко-економічній оцінці ефективності підвищення швидкостей руху для збільшення пропускної спроможності ліній доводиться враховувати широке коло факторів, які визначають умови експлуатації ліній та ро-

звиток їх технічного оснащення. Розрізняють три напрямки в підвищенні ходових швидкостей руху: збільшення швидкості під час їзди з тягою, швидкості яка є максимально дозволеною на спусках і зниженням основного опору руху.

Збільшення швидкості на робочій частині профілю під час їзди з тягою вимагає підвищення потужності локомотивів. Так само, як і під час підвищення маси поїзда, це можна здійснити встановленням як більш потужних локомотивів на чолі поїздів, так і допоміжних локомотивів на частині прямування (подвійна тяга) або на окремих перегонах (швидкісне підштовхування). Раціональний рівень ходової швидкості на робочій частині профілю під час їзди з тягою встановлюють, співставляючи додаткові витрати і економію, що пов'язані з введенням більш потужних локомотивів і підвищенням швидкості. У наближених розрахунках, які виконуються для вивчення загальних закономірностей і отримання зразкових орієнтирів, можна користуватися збільшеними показниками. Витрати, які пов'язані зі швидкістю руху поїздів, в цих розрахунках приймають залежно від двох показників: часу, що витрачається на рух поїздів, і енергії, необхідної на переміщення рухомого складу, враховуючи зупинки. Від часу залежать витрати на рухомий склад та вартість товарно-матеріальних цінностей, які знаходяться в процесі перевезення, частина витрат на утримання локомотивних бригад, ремонт і утримання рухомого складу.

З механічною роботою пов'язані витрати на електроенергію і паливо, ремонт двигунів локомотивів і ходових частин рухомого складу, ремонт колії і її поточне утримання та ін [2]. Загальні витрати в функції швидкості вантажних поїздів на робочі частини профілю, грн., в розрахунку на 1 т-км вантажних перевезень визначають

$$e_{ск}(v_p) = e_{т-год}(v_p) + e_{бр}(v_p) + e_{ен}(v_p) + e_{л}(v_p) + e_{зуп}(v_p), \quad (5.1)$$

де $e_{бр}(v_p)$ – витрати на сплату праці локомотивних бригад, грн.;

$e_{т-год}(v_p)$ – витрати, які пов'язані з часом знаходження вагонів і вантажів під час перевезень, грн.;

$e_{ен}(v_p)$ – витрати, які пов'язані з механічною роботою локомотива, грн.;

$e_{л}(v_p)$ – витрати, які пов'язані з підвищенням потужності локомотивів, грн.

$e_{зуп}(v_p)$ – витрати від зупинок поїздів для схрещення та обгонів, грн.

З умови $\frac{de_{ШВ}^{рус}}{dv_p}$ визначається рівень оптимальної швидкості вантажних поїздів

$$v_p^{опт} = \sqrt{\frac{C_{Т-ГОД}^{ван} + C_{бр} / Q_{бр}}{(1 + \nu) \cdot b \cdot C_e}}, \quad (5.2)$$

де $C_{Т-ГОД}^{ван}$ – витрати, які припадають на 1 т-год навантаженого вагона;

$C_{бр}$ – вартість 1 год роботи локомотивної бригади;

ν – відношення маси локомотива до маси поїзда;

C_e – витрати, які припадають на 1 т-км механічної роботи;

b – коефіцієнт приведення механічної роботи до маси локомотива.

Розрахунки показують [23], що оптимальний рівень ходових швидкостей на робочій частині профілю на двоколійних лініях при тепловозній тязі складає 55–60 км/год і при електричній тязі – 60–65 км/год. Більш висока швидкість при електричній тязі пояснюється тим, що на електрифікованих лініях зі збільшенням швидкості скорочуються витрати, які пов'язані з механічною роботою локомотивів, оскільки зменшується вартість їх ремонту порівняно з тепловозами. До того ж витрати на локомотивний парк в частині, яка залежить від швидкості, є нижчими, ніж на тепловози. Витрати на посилення потужності контактної мережі та підстанцій зростають, але загальний баланс всіх витрат сприяє підвищенню швидкості.

На одноколійних лініях зі збільшенням швидкості суттєво збільшуються витрати, грн., які пов'язані із зупинками і знаходяться в залежності від квадрата швидкості:

$$C_{зуп} = 3,8(P + Q_{бр}) \cdot \alpha_T^2 \cdot v_x^2 \cdot C_e \cdot 10^{-6} + C_{п-год} \cdot t_{зуп}, \quad (5.3)$$

де α_T – коефіцієнт, що є відношенням швидкості початку гальмування до ходової;

$t_{зуп}$ – тривалість стоянки поїзда, хв.

При заданих розмірах руху зі збільшенням швидкості скорочується кількість зупинок та зростають сумарні витрати на них. Але в зв'язку з тим, що при збільшенні швидкості на одноколійних лініях можуть бути відкладені більш капіталоємні заходи щодо збільшення пропускної

спроможності, оптимальні швидкості виявляються близькими до тих, що були отримавані на двоколійних лініях.

Ходова швидкість на лінії в цілому може бути визначена залежно від швидкостей на робочій частини v_p профілю і максимально дозволеної на спусках v_{\max} . Підвищення останньої є додатковим позитивним чинником, який був отриманий від швидкості на робочій частини профілю. Це дозволяє економити паливо (електроенергію) і зменшувати витрати на ремонт рухомого складу та колії.

Максимальна швидкість на спусках за станом колії залежить від таких факторів [2]:

- типу та зносу верхньої будови колії, стану земляного полотна;
- впливу рухомого складу, який дозволяється на штучні споруди;
- плану лінії;
- міцності та якості контактної мережі, а також типу пристроїв автоматики і зв'язку.

При заданому типі верхньої будови колії можливий рівень швидкостей наближено становить

$$v_p = A \cdot q, \quad (5.4)$$

де v_{\max} – максимальна швидкість, км/год;

q – маса 1 м рейки, кг;

A – параметр, значення якого коливається від 1,70 до 3,00, а в середньому може бути прийнято 2,5.

Станом колії на всіх лініях, де укладено рейки не слабкіше Р50 на щебеневому баласті, можливі максимально дозволені швидкості до 120–150 км/год. Приблизно такі швидкості можуть бути реалізовані і в кривих з радіусами більше ніж 500 м. Протяжність кривих з меншим радіусом є незначною і доводиться на слабонапружені ділянки.

Чотиривісні вагони сучасних конструкцій забезпечують швидкість руху до 90 км/год. Для подальшого підвищення швидкостей необхідно вдосконалити ресорне підвішування. Таким чином, найбільш ймовірне значення максимальної швидкості на спусках знаходиться в інтервалі від 90 до 120 км/год. У цьому діапазоні швидкостей економія часу і механічної роботи знижується. Залежність економії часу l і механічної роботи 2 від максимальної швидкості руху наведено на рис. 5.1 [2].

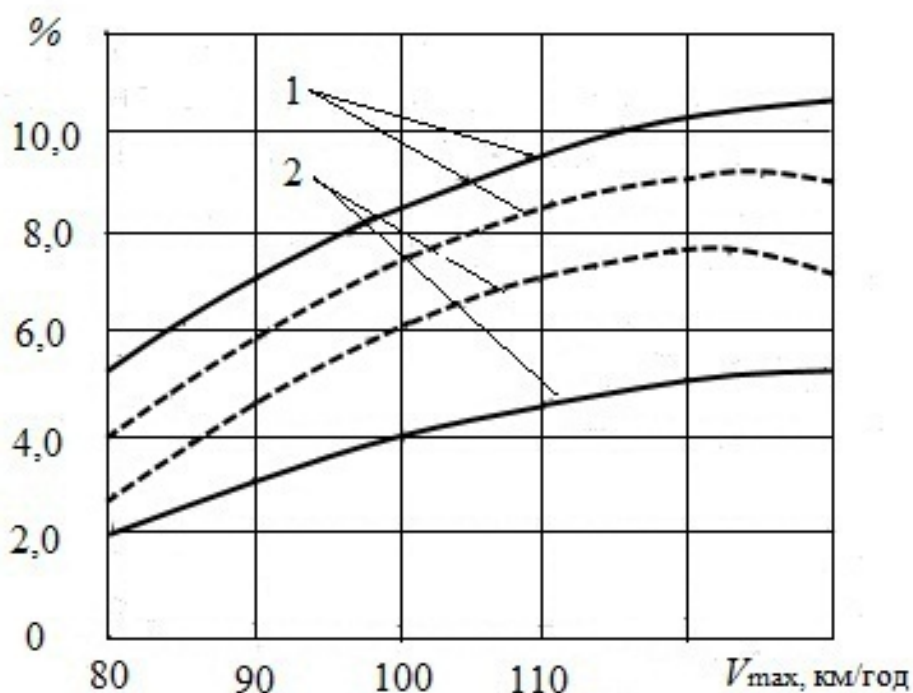
Як видно з рис. 5.1, за межами швидкості 110 км/год приріст економії є незначним. Діапазон оптимального значення може бути скорочено до 90–110 км/год. Більш точні розрахунки вказують, що раціо-

нальний рівень максимальних ходових швидкостей вантажних поїздів на спусках – 100 км/год.

$$v_{\text{ср}}^{\text{опт}} = \frac{1}{\frac{\mu}{v_{\text{р}}^{\text{опт}}} - \frac{1-\mu}{v_{\text{max}}}} \quad (5.5)$$

Діапазон оптимальних середньоходових швидкостей звичайних вантажних поїздів в сучасних умовах:

- при електричній тязі – 65–70 км/год;
- при тепловозній тязі – 60–65 км/год.



*суцільна лінія – тепловозна тяга,
пунктирна лінія – електровозна тяга

Рис. 5.1. Залежність економії часу та механічної роботи від максимальної швидкості руху поїздів

Зниження опору руху досягається за рахунок поліпшення використання вантажопідйомності вагонів і збільшення навантаження на кожну їх вісь, посилення потужності верхньої будови колії, в тому числі, влаштування безстикової колії, удосконалення конструкції гальмівної системи і обладнання вагонів роликowymi підшипниками.

При заданому типі локомотива, потужність якого видається відомою

$$N_{\text{к}} = \frac{(P + Q_{\text{бр}}) \cdot (\omega_0 + i_p) \cdot v}{270},$$

зменшення опору ω_0 дозволяє підвищити швидкість руху, причому більш суттєво при тепловозній тязі, ніж при електричній, оскільки потужність тепловоза є постійною в широкому діапазоні ходових швидкостей.

Заходи, які спрямовані на підвищення швидкостей за рахунок зниження опору руху, в більшій частині мають загальний характер. У конкретних умовах на окремих лініях необхідно враховувати вплив цих заходів на відповідні характеристики рухомого складу, вагоно- та поїздопотоків. Можливості впливу на ці характеристики на окремих лініях обмежені.

Ефективність підвищення швидкості руху для посилення пропускної спроможності ліній визначають конкретними техніко-економічними розрахунками. Однак на одноколієних лініях період графіка скорочується повільніше, ніж зростає швидкість, оскільки в нього, крім часу ходу поїздів по перегону, входять також станційні інтервали. Тому відносний приріст пропускної спроможності становить приблизно лише 70 % приросту середньої швидкості [21].

На окремих лімітуючих перегонах підвищення ходової швидкості руху може значно впливати на пропускну спроможність ділянки. На таких перегонах необхідно вжити всі заходи для збільшення її до максимально дозволених значень. При цьому може виявитися доцільним швидкісне підштовхування, якщо повертати підштовхуючі локомотиви назад без додаткового часу ходу поїзда та заняття перегону, що наведено на рис. 5.2, а.

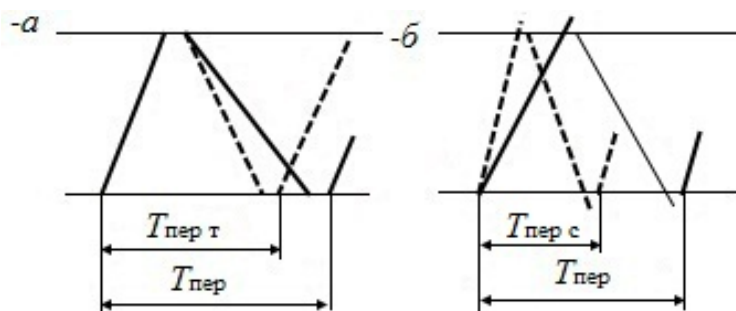


Рис. 5.2. Зменшення періоду графіка при збільшенні швидкостей руху

На двоколієних лініях збільшення пропускної спроможності від підвищення швидкості руху є найбільш відчутною під час напівавтоматичного блокування, оскільки скорочується час заняття перегону

і відповідно зменшується період графіка [2]. Найбільше збільшення пропускної спроможності та найбільший економічний ефект зростання швидкостей руху існує на ділянках з двоколійними вставками для безупинних схрещень. Тут у зв'язку зі зменшенням періоду графіка з $T_{\text{пер}}^T$ (вихідна швидкість) до $T_{\text{пер}}^C$ (підвищена) (див. рис. 5.2, б) пропускна спроможність при заданій відстані між центрами вставок $l_{\text{ц}}$ відповідно збільшиться з

$$n = \frac{24}{T_{\text{пер}}} = \frac{12 \cdot v_x}{l_{\text{ц}}} \quad (5.6)$$

до

$$n_c = \frac{24}{T_{\text{пер}}^C} = \frac{12 \cdot v_x^C}{l_{\text{ц}}}, \quad (5.7)$$

де v_x і v_x^C – ходові швидкості вихідна і підвищена відповідно, км/год.

Однак ефект від збільшення швидкостей [7] на таких лініях можна отримати лише під час комплексного вирішення задачі вибору оптимального рівня ходової швидкості і раціонального розміщення двоколіїних вставок. На експлуатованих двоколіїних вставках при зміні швидкості практично неможливо досягти ідентичності перегонів, оскільки співвідношення збільшених і вихідних швидкостей руху на різних елементах профілю є різними. Під час проектування двоколіїних вставок скорочення капітальних вкладень на часткове спорудження другої головної колії розраховують таким чином. Необхідна ступінь двоколіїних ліній зі вставками для безупинних схрещення складає

$$\alpha_{\text{дв}} = \frac{l_{\text{в}}}{l_{\text{ц}}} = \frac{l_{\text{в}} \cdot n_3}{12 \cdot v_x}, \quad (5.8)$$

де $l_{\text{в}}$ – середня довжина двоколіїної вставки, що забезпечує схрещення поїздів без зниження швидкості, м;

$l_{\text{ц}}$ – середня відстань між центрами вставок (вісьми схрещення), м;

n_3 – заданий рівень наявної пропускної спроможності в парах поїздів паралельного графіка.

Визначаючи довжину вставки як $l_B = 3,75 + 0,033 \cdot v_x$, отримаємо залежність ступеня двоколійної лінії від середньої ходової швидкості

$$\alpha_{ДВ} = \frac{(3,75 + 0,033v_x) \cdot n_3}{12 \cdot v_x} \quad (5.9)$$

Тоді економія капітальних витрат на спорудження двоколійних вставок, віднесена на 1 км лінії складе

$$\delta K_B = \frac{3,75 \cdot n_3}{12} \left(\frac{1}{v_x} - \frac{1}{v_x^c} \right) \cdot a_{ВС}^{км} \quad (5.10)$$

де v_x^c – збільшена ходова швидкість вантажних поїздів, км/год.;

$a_{ВС}^{км}$ – вартість спорудження 1 км двоколійних вставок, грн.

Контрольні запитання до блоку 5.1

1. Що забезпечує збільшення швидкостей руху вантажних поїздів?
2. Що вимагає збільшення швидкості на робочій частині профілю під час їзди з тягою?
3. Від яких показників залежать витрати, що пов'язані зі збільшенням швидкості поїздів?
4. Яким є діапазон оптимальних середньоходових швидкостей звичайних вантажних поїздів в сучасних умовах при електричній тязі?
5. При яких засобах руху поїздів є найбільш відчутним збільшення пропускної спроможності від підвищення швидкості руху на двоколійних лініях?

5.2. Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок застосування пакетного графіку руху поїздів

Пакетний графік руху поїздів застосовують головним чином на одноколійних лініях, які обладнані автоблокуванням. Також його можна використовувати на ділянках з напівавтоматичним блокуванням при наявності на перегонах колійних постів. Однак, через значний інтервал між поїздами в цьому випадку його необхідно розглядати лише як спосіб форсування пропускної спроможності у виняткових випадках [14].

Під час автоблокування рух поїздів завжди здійснюється за частково-пакетними графіками. Необхідно знайти оптимальний коефіцієнт па-

кетності для стабільного поїздопотоків або раціональний термін експлуатації лінії з пакетним рухом в умовах зростаючого вантажопотоку. Більш загальне рішення доцільності застосування пакетного графіка складається в техніко-економічному обґрунтуванні обладнання одноколісної лінії автоблокуванням з переходом на частково-пакетний графік і раціональному рівні завантаження її під час пакетного руху поїздів. Техніко-економічні характеристики умов роботи і розвитку одноколісної лінії під час введення автоблокування і частково-пакетного графіка руху такі. Капітальні витрати, які пов'язані з обладнанням автоблокуванням K_a , складаються із вартості останньої $K_{аб}$ і додаткових станційних колій, що необхідні для організації пакетного руху $K_{чп}$:

$$K_a = K_{аб} + K_{чп}.$$

Вартість автоблокування залежить від кількості роз'їздів і станцій на ділянці, але в межах практично можливої на експлуатованих лініях кількості роздільних пунктів визначається лише довжиною лінії і видом тяги. Вартість будівництва додаткових колій залежить від їх кількості, а останнє – від параметрів лінії. Якщо протягом доби пакети вантажних поїздів розташовані на графіку руху рівномірно, кількість додаткових приймально-відправних колій дорівнює сумі схрещень цих пакетів між собою, з пасажирськими поїздами та обгонів пасажирськими поїздами, які припадають в середньому на одну пару пакетів поїздів

$$m_{д}^{пв} = \kappa_{сх}^{п} + \kappa_{сх}^{пс} + \kappa_{об}^{пс}.$$

Значення $\kappa_{сх}^{п}$, $\kappa_{сх}^{пс}$, $\kappa_{об}^{пс}$ повинні відповідати останньому року дії пакетного графіка. Кількість схрещень пакетів поїздів між собою, яка припадає на одну пару пакетів, складе

$$\kappa_{сх}^{п} = \frac{2 \cdot l_{діл}}{\beta_{п} \cdot v_{х} \cdot I_{п}^{сп}}, \quad (5.11)$$

де $l_{діл}$ – довжина ділянки, на якій вводиться пакетний рух поїздів, км;

$\beta_{п}$ – коефіцієнт дільничної швидкості при пакетному графіку руху, який залежить від коефіцієнта пакетності, маси поїзда, вантажопотоку та кількості пасажирських поїздів; $\beta_{п} = f(\alpha_{п}, Q_{бр}, \Gamma, n_{пс})$;

$I_{п}^{сп}$ – середній інтервал між пакетами поїздів, хв.

Прийнявши для двох поїздів в пакеті $I_{\Pi}^{\text{ср}} = \frac{24}{0,5 \cdot \alpha_{\Pi} \cdot n_{\text{ван}}}$ та подаючи кількість вантажних поїздів в функції t_a і маси поїзда $n_{\text{ван}} = \frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t_a) 10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}$, де (ε – річний приріст вантажопотоку), отримаємо вираз для розрахунку кількості схрещень пакетів поїздів між собою

$$\kappa_{\text{ск}}^{\Pi} = \frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t_a) 10^6 \cdot l_{\text{діл}} \cdot \alpha_{\Pi}}{8760 \cdot \beta_{\Pi} \cdot \nu_x \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}. \quad (5.12)$$

Кількість схрещень пари пакетів з пасажирськими поїздами є аналогічною кількості схрещень пакетів поїздів між собою та розраховується за формулою [2]

$$\kappa_{\text{сх}}^{\text{пс}} = \frac{(1 + \psi)(n_{\text{пс}}^0 + n_{\text{пс}}^{\Gamma} \cdot t_a) \cdot l_{\text{діл}}}{12 \cdot \nu_x \cdot \beta_{\Pi}}, \quad (5.13)$$

де ψ – відношення часу перебування на ділянці пари пасажирських до часу знаходження пари пакетів вантажних поїздів.

Кількість обгонів однієї пари пакетів пасажирськими поїздами розраховується за формулою [2]

$$\kappa_{\text{сх}}^{\text{пс}} = \frac{(1 - \psi)(n_{\text{пс}}^0 + n_{\text{пс}} \cdot t_a) \cdot l_{\text{діл}}}{12 \cdot \nu_x \cdot \beta_{\Pi}}. \quad (5.14)$$

Загальна кількість додаткових приймально-відправних колій при частково-пакетному графіку руху на проміжних станціях і роз'їздах ділянки складе [2]

$$m_{\text{Д}}^{\text{пр}} = \frac{l_{\text{діл}}}{\beta_{\Pi} \cdot \nu_x} \left[\frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t_a) 10^6 \cdot \alpha_{\Pi}}{8760 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}} + \frac{n_{\text{пс}}^0 + n_{\text{пс}}^{\Gamma} \cdot t_a}{6} \right]. \quad (5.15)$$

З огляду на те, що на технічній станції необхідно споруджувати не менш ніж дві додаткові колії, загальна їх кількість при частково-пакетному графіку руху на ділянці між цими станціями складе $m_{\text{Д}} = 2 + m_{\text{Д}}^{\text{пр}}$.

Одноразові капітальні витрати на пристрої автоблокування і додаткові колії складуть, грн.

$$K_a = a_{\text{км}} \cdot l_{\text{діл}} + m_{\text{Д}} \cdot l_{\text{пв}} \frac{a_{\text{СТ}}^{\text{км}}}{1000}, \quad (5.16)$$

де $a_{\text{км}}$ – вартість пристроїв автоблокування на 1 км ділянки, грн.;

$a_{\text{СТ}}^{\text{км}}$ – вартість спорудження 1 км станційної колії, грн.

Річні поточні витрати, які пов'язані з пакетним рухом, складуть

$$E_{\text{п}} = E_3 + E_{\text{зуп}} + \epsilon_{\text{чп}} + \epsilon_a, \quad (5.17)$$

де E_3 – витрати від затримок поїздів в пунктах формування і роз'єднання пакетів, грн.;

$E_{\text{зуп}}$ – витрати на зупинки поїздів при схрещеннях і обгонах, грн.;

$\epsilon_{\text{чп}}, \epsilon_a$ – витрати на утримання пристроїв автоблокування і додаткових станційних колій, грн.

Додаткові затримки поїздів при частково-пакетному русі виникають в пунктах переходу від непакетного руху до пакетного та навпаки, а також на станціях масового формування і розформування поїздів [23]. На їх величину як при непакетному, так і при пакетному графіку впливає нерівномірність руху. Однак, в даному випадку важливо знати не абсолютну величину затримок, а лише відносну різницю їх при пакетному та непакетному рухах. Допускаючи, що вплив нерівномірності руху позначиться однаково в тому в обох випадках, цю різницю визначимо таким розрахунком.

Кількість пар вантажних поїздів на ділянці в функції терміну і маси поїзда складе [14]

$$n_{\text{ван}} = \frac{(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}. \quad (5.18)$$

Кількість умовних пакетів, частина з яких при частково-пакетному графіку складається з двох поїздів, а решта – з одного, складе [14]

$$n_{\text{ум}}^{\text{п}} = \frac{(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}} (1 - 0,5 \cdot \alpha_{\text{п}}). \quad (5.19)$$

Тоді середні інтервали відправлення поїздів і умовних пакетів з початкової станції ділянки, хв., визначимо за формулами

– для непакетного графіка

$$I_{\text{ср}} = \frac{8\,760 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t) 10^6}; \quad (5.20)$$

– для пакетного графіка

$$I_{\text{ср}}^{\text{п}} = \frac{8\,760 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t) 10^6 (1 - 0,5 \cdot \alpha_{\text{п}})}. \quad (5.21)$$

Додатковий простій одного складу, хв, під час переходу від непакетного руху до пакетного складе

$$t_{\text{Д}}^{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ср}}^{\text{п}}}{2} - \frac{I_{\text{ср}}}{2} \quad (5.22)$$

або

$$t_{\text{Д}}^{\text{ср}} = \frac{8\,760 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \alpha_{\text{п}}}{4 \cdot 10^6 (\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t) (1 - 0,5 \cdot \alpha_{\text{п}})}. \quad (5.23)$$

Загальний додатковий простій складів поїздів в одному напрямку за добу, хв., складе

$$\sum nt_{\text{Д}} = \frac{6 \cdot \alpha_{\text{п}}}{1 - 0,5 \cdot \alpha_{\text{п}}}. \quad (5.24)$$

Річні наведені витрати, пов'язані з додатковими затримками складів поїздів в кожному пункті формування або роз'єднання пакетів, грн., складуть

$$E_3 = \frac{4\,380 \cdot Q_{\text{бр}} \cdot \alpha_{\text{п}} \cdot C_{\text{т-год}}}{1 - 0,5 \cdot \alpha_{\text{п}}}, \quad (5.25)$$

де $C_{\text{т-год}}$ – вартість 1 т-год бруто навантаженого вагона, грн.

Річні наведені витрати, пов'язані із зупинками поїздів під час пакетного руху, грн., складуть [2]

$$E_{зуп} = \frac{(\Gamma_0 + z \cdot t)10^6}{\phi \cdot Q_{бр}} \left[\frac{2C_{п-год}}{v_x} \left(\frac{1}{\beta_{п}} - 1 \right) + 3,8(P + Q_{бр}) \cdot \kappa_{зуп}^п \cdot v_T^2 \cdot C_e 10^{-6} \right], (5.26)$$

де $\kappa_{зуп}^п$ – кількість зупинок однієї пари поїздів при пакетному графіку, яке віднесене на 1 км лінії і залежне від коефіцієнта пакетності, маси поїзда, вантажопотоку та кількості пасажирських поїздів.

Річні витрати, пов'язані з утриманням додаткових станційних колій m_D і пристроїв автоблокування, грн., складуть

$$C_{чп} + C_a = e_a^{км} + \frac{m_D \cdot l_{пв} \cdot e_{ск}^{км}}{1000 \cdot l_{діл}}. (5.27)$$

де $e_a^{км}$ – експлуатаційні річні витрати на утримання пристроїв автоблокування, віднесені на 1 км лінії, грн.;

$e_{ск}^{км}$ – експлуатаційні річні витрати на утримання 1 км станційної колії, грн.

В сучасних умовах введення автоблокування з пакетним графіком на одноколійних лініях випереджує спорудженню часткових або суцільних других головних колій на перегонах. Техніко-економічна ефективність цього заходу встановлюється на основі порівняння варіантів за сумарними витратами [14]

$$E_c = K_a + \sum_{t=1}^{t_a} \frac{E_{п}}{(1 + E_{нп})^t} + \frac{K_{вс}}{(1 + E_{нп})^{t_a}} + \sum_{t=t_a+1}^{t_k} \frac{E_{вс}}{(1 + E_{нп})^t}, (5.28)$$

де $K_{вс}$ – вартість споруди на лінії двоколійних вставок або суцільної другої головної колії, грн.;

$E_{вс}$ – наведені до річних перевізні витрати після споруди на лінії вставок або других колій, грн.;

t_a – термін експлуатації лінії від введення автоблокування до споруди других колій, років.

Технічно можливий термін експлуатації лінії під час автоблокування залежно від коефіцієнта пакетності графіка можна визначити, виходячи з рівності наявної та потрібної пропускних спроможностей [14]

$$\frac{48 \cdot j}{(2 - \alpha_{\Pi}) \left(\frac{2 \cdot l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum t \right) 2 \cdot I \cdot j \cdot \alpha_{\Pi}} = \beta_p \left[\frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t_a) 10^6 \cdot \kappa_H}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}} + \right. \\ \left. + (n_{\text{пс}}^0 + n_{\text{пс}}^{\Gamma} \cdot t_a) - \varepsilon_{\text{пс}} \right], \quad (5.29)$$

$$t_a^{\Gamma} = \left\{ \frac{17520 \cdot j \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}}{\left[(2 - \alpha_{\Pi}) \left(\frac{2l_{\text{ср}}}{v_x} + \sum \tau \right) + 2J \cdot j \cdot \alpha_{\Pi} \right] \beta_p} - \Gamma_0 \cdot \kappa_H \cdot 10^6 - 365 \cdot Q_{\text{бр}} \cdot n_{\text{пс}}^0 \cdot \varepsilon_{\text{пс}} \right\} \times \\ \times \frac{1}{\varepsilon \cdot \kappa_H \cdot 10^6 + 365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}} \cdot n_{\text{пс}}^{\Gamma} \cdot \varepsilon_{\text{пс}}},$$

де $\varepsilon_{\text{пс}}$ – коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими при пакетному графіку руху;

β_p – коефіцієнт резерву пропускної спроможності;

κ_H – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку.

Оптимальний термін експлуатації лінії при автоблокуванні визначиться за мінімумом витрат E_c при розрахунку їх в варіантах з різним значенням t_a в межах $0 < t_a \leq t_a^{\Gamma}$. При виборі оптимального варіанту слід також враховувати особливість частково-пакетного графіка як способу організації руху.

Дослідження показують, що частково-пакетний графік в певних умовах дозволяє знизити витрати, що пов'язані із зупинками поїздів порівняно з непакетним. Для кожного значення розмірів руху вантажних і пасажирських поїздів є свій раціональний за цими витратами коефіцієнт пакетності графіка, причому зі збільшенням розмірів руху його значення зменшується. Таким чином, під час дії автоблокування можуть бути два значення коефіцієнта пакетності графіка: мінімально необхідний за умовами пропускної спроможності t_{Π}^{Π} і раціональний за витратами, які пов'язані із зупинками, α_{Π}^{Π} . Коефіцієнт α_{Π}^{Π} зростає зі збільшенням терміну експлуатації лінії від нуля в момент введення автоблокування до найбільшого за умовами пропускної здатності в рік t_a .

Залежність коефіцієнтів пакетності графіка від терміну експлуатації лінії наведено на рис. 5.3 [14].

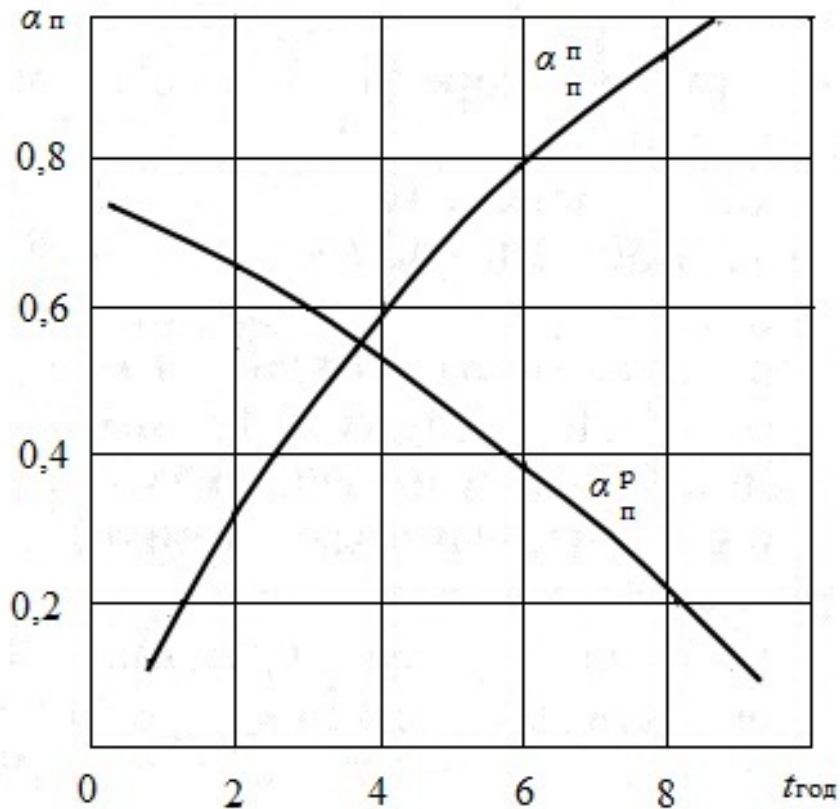


Рис. 5.3. Залежність коефіцієнтів пакетності графіка від терміну експлуатації лінії

Наприклад (див. рис. 5.3), до четвертого року дії автоблокування значення $\alpha_{\text{п}}^{\text{р}}$ і $\alpha_{\text{п}}^{\text{п}}$ виявляються приблизно рівними. Коефіцієнти пакетності, які пов'язані із зупинками поїздів за витратами $\alpha_{\text{п}}^{\text{р}}$, не можуть бути раціональними, оскільки необхідний $\alpha_{\text{п}}^{\text{п}}$ вище за нього. У перші роки дії автоблокування є доцільною велика ступінь пакетності графіка, ніж це необхідно за умовами пропускнуої спроможності. Отже, в загальному випадку треба розрахувати не тільки оптимальне значення кінцевого коефіцієнта пакетності $\alpha_{\text{п}}^{\text{к}}$ графіка (визначає термін t_a у формулі (5.29), але й раціональні його значення за терміном експлуатації лінії. Як показують розрахунки, оптимальний коефіцієнт пакетності графіка при зростаючому вантажопотоці знаходиться в межах від 0,3 до 0,6 залежно від умов експлуатації та розвитку одноколійних ліній.

Контрольні запитання до блоку 5.2

1. На яких лініях застосовується пакетний графік руху поїздів?
2. З чого складаються капітальні витрати, що пов'язані з обладнанням автоблокування?
3. Де виникають додаткові затримки поїздів під час частково-пакетного руху?

6. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНІВ ТА БУДІВНИЦТВА ДРУГИХ КОЛІЙ НА ОДНОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ

6.1. Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямоків за рахунок зменшення довжини перегонів

Довжину перегонів на одноколійних і двоколійних лініях зменшують, відкриваючи додаткові роз'їзди, обгінні пункти і пости, а також подовжують станційні колії в бік обмежуючого перегону [2]. При цьому скорочується період графіка від зменшення часу ходу поїздів за рахунок скорочення довжини перегону.

В результаті зменшення довжини обмежуючого перегону пропускну спроможність буде лімітувати інший перегін із близьким до максимального періодом графіка. Тому відносний приріст пропускної спроможності та ефективність зменшення довжини перегонів залежать від ступеня їх ідентичності. Для підвищення пропускної спроможності на ділянках з ідентичними перегонами доводиться відкривати додаткові роздільні пункти на всіх перегонах. Оскільки в періоді графіка залишаються незмінними станційні інтервали та час на розгін і уповільнення, під час розподілу перегонів на дві приблизно рівні частини пропускну спроможність ліній підвищується на 60–80 %. Але, щоб відкрити роз'їзди або обгінні пункти на експлуатаційних лініях, між діючими роздільними пунктами повинні бути майданчики, профіль яких забезпечував би зрушення поїзда з місця (середній ухил не більш ніж 4 ‰). Тому розділити існуючі перегони на дві рівні за часом ходу частини практично неможливо, і приріст пропускної спроможності становить зазвичай не більше 50–60 %, а при несприятливих профільних умовах навіть 30–35 % [9].

Подовження станційних колій в бік обмежуючого перегону призводить до зрушення вісей роздільних пунктів (вісей схрещення або обгону поїздів). Цей захід є ефективним лише при істотній неідентичності перегонів, оскільки максимально можливе на ділянці збільшення про-

пускнуї спроможності відповідає призведенню перегонів до повної ідентичності. Коефіцієнти неідентичності перегонів на різних ділянках знаходяться в межах 0,8–0,9. Отже, максимально можливий приріст пропускнуї спроможності від подовження станційних колій в бік обмежуючого перегону – 10–20 % [9].

Техніко-економічна ефективність відкриття роз'їздів на одноколійних і обгінних пунктах на двоколійних лініях встановлюється порівнянням цих заходів із введенням автоблокування або спорудою додаткових головних колій на перегонах.

Варіанти з додатковим відкриттям роз'їздів оцінюють за сумарними модифікованими витратами [2]

$$E_c = K_p + \sum_{t=1}^{t_p} \frac{E_p (m_p^D \cdot t)}{(1 + E_{HP})^t} + \frac{E_{II}}{(1 + E_{HP})^{t_p}}, \quad (6.1)$$

де K_p – одноразові витрати на спорудження додаткових роз'їздів, що залежать від кількості останніх, грн.;

E_p – наведені до річних витрати, що залежать від кількості відкритих роз'їздів і терміну експлуатації лінії, грн.;

E_{II} – сумарні модифіковані витрати, що пов'язані з оволодінням перевезеннями на лінії після вичерпання пропускнуї спроможності, яка була отримана від відкриття роз'їздів, грн.;

t_p – термін можливої експлуатації лінії з додатково відкритими роз'їздами до наступного посилення пропускнуї спроможності, років.

Невелика кількість варіантів порівнюють, безпосередньо розраховуючи витрати за формулою (6.1). Термін t_p визначають з рівності потрібної і наявної пропускнуї спроможності за формулою, аналогічною (6.2) [2]

$$t_p = \left\{ \frac{8760 \cdot j \cdot \phi \cdot Q_{бр}}{[v_x (m_o + m_p^D + 1) + \sum \tau] \beta_p} - \Gamma_p \cdot \kappa_H \cdot 10^6 - 365 \cdot \phi \cdot Q_{бр} \cdot n_{пс}^o \cdot \varepsilon_{пс} \right\} \times \frac{1}{2 \cdot \kappa_H \cdot 10^6 + 365 \cdot \phi \cdot Q_{бр} \cdot n_{пс}^Г \cdot \varepsilon_{пс}} \quad (6.2),$$

де m_o – кількість роздільних пунктів на ділянці в вихідний момент;
 $l_{діл}$ – довжина ділянки, км.

Для значної кількості варіантів, які можливі на лініях зі значною неідентичністю перегонів, задача вирішується таким чином [2].

1. Для варіантів, які відрізняються кількістю роз'їздів $m_{р д}^Д$, що додатково відкриваються, визначається залежність загальних витрат на опанування перевезеннями від величини вантажопотоку, який опанується після відкриття роз'їздів Γ_p . Коли в якості наступного заходу щодо посилення пропускної спроможності прийнято спорудження двоколійних вставок для безупинних схрещення поїздів, криві $E_{заг} = f(\Gamma_p)$ (рис. 6.1) відображають залежність загальних витрат за весь період з моменту відкриття додаткових роз'їздів до введення в експлуатацію другої головної колії.

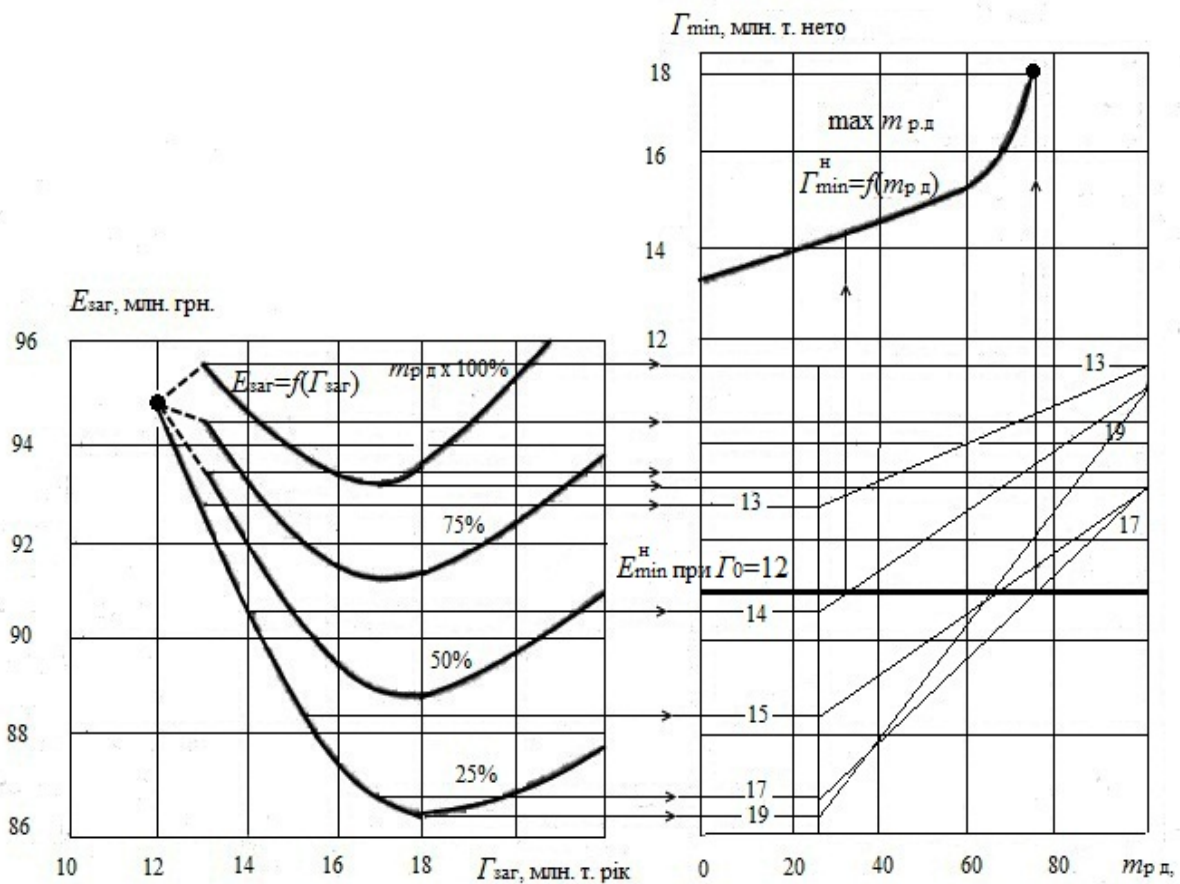


Рис. 6.1. Номограма для визначення умов вигідності відкриття роз'їздів на одноколійній лінії

2. За залежністю $E_{заг} = f(\Gamma_p)$ і величини загальних витрат на оволодіння вантажопотоками, які були введені (перед вставками) автоблокуванням і частково-пакетним графіком руху поїздів E_{min}^H графічними по-

будовами (див. рис. 6.1), встановлюють залежність між кількістю роз'їздів, які відкриваються (в цьому випадку в відсотках від кількості перегонів m_p^D) і тієї мінімально необхідної провізної спроможності Γ_{\min}^H , при якій загальні витрати у варіанті з додатковими роз'їздами перед двоколійними вставками будуть дорівнювати витратам в варіанті з пакетним рухом.

За залежністю $\Gamma_{\min}^H = f(m_p^D)$, по-перше, визначають максимально виправдану кількість додаткових роз'їздів, які відкриваються (права з краю точка кривої m_p^D), і, по-друге, виключають з розгляду варіанти з кількістю роз'їздів більш ніж максимальна m_p^D і ті, в яких провізна спроможність нижче межі.

3. Щоб знайти оптимальний варіант з тих, в яких після відкриття додаткових роз'їздів провізна спроможність є вище рівня, що визначається кривою $\Gamma_{\min}^H = f(m_p^D)$, їх порівнюють прямими розрахунками. Варіант з меншими загальними витратами є найвигіднішим з можливих на цій лінії. Як свідчать розрахунки, відкривати додаткові роз'їзди на одноколійних перегонах ефективно, якщо середня довжина перегону є більшою, ніж 12–16 км. При меншій довжині більш вигідним є автоблокування з пакетним рухом або спорудою двоколійних вставок для беззупинкових схрещень.

Додаткові колійні пости на двоколійних лініях відкривають під час напівавтоматичного блокування. Техніко-економічну ефективність цього заходу порівнюють з введенням автоблокування [2]

$$E_H(K_{\text{аб}} - K_{\text{пп}}) + C_{\text{аб}} - C_{\text{н/а}} \leq \Delta E_{\text{обг}} + \Delta E_{\text{вік}}, \quad (6.3)$$

де $K_{\text{аб}}, K_{\text{пп}}$ – вартість пристрою автоблокування та колійних постів відповідно, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$C_{\text{аб}}, C_{\text{н/а}}$ – річні витрати на утримання автоматичного та напівавтоматичного блокування (включаючи пости) відповідно, грн.;

$\Delta E_{\text{обг}}, \Delta E_{\text{вік}}$ – отримується під час переходу з напівавтоматичного блокування до автоматичного за рахунок скорочення модифікованих витрат, які пов'язані з обгонами вантажних поїздів пасажирськими і затримками поїздів і локомотивів через надання «вікон» в графіку руху відповідно, грн.

Результат правої частини формули 6.3 залежить від розмірів руху вантажних і пасажирських поїздів на лінії. Таким чином, якщо встановити цю залежність, можна визначити раціональний рівень завантаження двокільної лінії до споруди на ній автоблокування. Економія витрат, що пов'язані з обгонами на ділянці, грн., визначиться за формулою

$$\Delta E_{\text{обг}} = \frac{\Gamma \cdot 10^6}{\phi \cdot Q_{\text{бр}}} \left[\frac{2 \cdot l_{\text{діл}}}{v_x} \left(\frac{1}{\beta_{\text{діл}}^{\text{на}}} - \frac{1}{\beta_{\text{діл}}^{\text{аб}}} \right) \right] \cdot C_{n-\text{год}} +$$

$$+ (\kappa_{\text{зуп}}^{\text{на}} - \kappa_{\text{зуп}}^{\text{аб}}) \cdot 3,8 \cdot (P + Q_{\text{бр}}) \cdot v_{\Gamma}^2 \cdot 10^{-6} C_{\epsilon}, \quad (6.4)$$

де $\frac{\Gamma \cdot 10^6}{\phi \cdot Q_{\text{бр}}}$ – річна кількість вантажних поїздів;

$\beta_{\text{діл}}^{\text{на}}, \beta_{\text{діл}}^{\text{аб}}$ – коефіцієнти дільничної швидкості вантажних поїздів під час напівавтоматичного та автоматичного блокування відповідно;

$\kappa_{\text{зуп}}^{\text{на}}, \kappa_{\text{зуп}}^{\text{аб}}$ – кількість зупинок вантажних поїздів для обгонів їх пасажирськими, яка припадає на одну пару поїздів, під час напівавтоматичного та автоматичного блокування відповідно.

Економія від скорочення затримок поїздів під час надання «вікон» з'являється внаслідок того, що можна знизити мінімальний інтервал їх відправлення після закінчення перерви в русі до величини I_{min} . Кількість затриманих поїздів та загальний час їх простою встановлюються таким чином, як наведено на рис. 6.2.

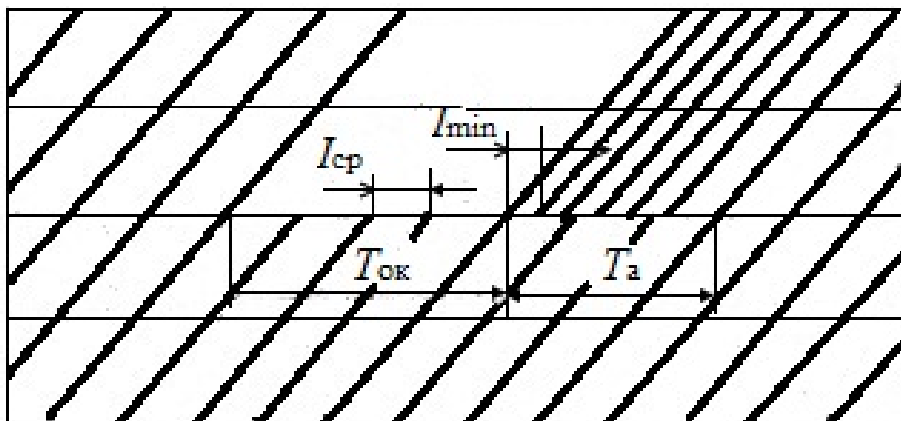


Рис. 6.2. Схема руху поїздів при виділенні «вікна» в графіку

Як наведено в рис. 6.2, кількість затриманих поїздів складе

$$n_{\text{зат}} = \frac{T_{\text{вік}} + T_{\text{в}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (6.5)$$

де $T_{\text{вік}}$ – тривалість «вікна», хв.;

$T_{\text{в}}$ – час відновлення нормального руху поїздів після «вікна», хв.;

$I_{\text{ср}}$ – середній інтервал між вантажними поїздами на лінії, хв.;

$$I_{\text{ср}} = \frac{1440 - \varepsilon_{\text{пс}} \cdot n_{\text{пс}} \cdot I_{\text{пс}}}{n_{\text{ван}}}. \quad (6.6)$$

Визначаючи $T_{\text{в}}$ через вихідні дані

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{вік}} + T_{\text{в}}}{I_{\text{ср}}} \cdot I_{\text{мін}} \quad (6.7)$$

і підставляючи до формули (6.5), отримаємо вираз для визначення кількості затриманих поїздів

$$n_{\text{зад}} = \frac{T_{\text{вік}}}{I_{\text{ср}} - I_{\text{мін}}}. \quad (6.8)$$

З огляду на те, що перший затримуваний поїзд простоює час $T_{\text{вік}} - I_{\text{ср}}$, а у останнього простій дорівнює нулю, знайдемо середній час затримки поїзда, хв.: $t_{\text{зат}} = (T_{\text{вік}} - I_{\text{ср}}) / 2$.

Загальний час затримки поїздів при виділенні одного «вікна», хв., складе

$$n_{\text{зат}} \cdot t_{\text{зат}} = \frac{T_{\text{вік}}}{I_{\text{ван}} - I_{\text{мін}}} \cdot \frac{T_{\text{вік}} - I_{\text{ср}}}{2} = \frac{T_{\text{вік}} \cdot (T_{\text{вік}} - I_{\text{ср}})}{2(I_{\text{ван}} - I_{\text{мін}})}. \quad (6.9)$$

Річні витрати через надання «вікон», що припадають на 1 км лінії, грн., визначаються за формулою

$$E_{\text{вік}} = \frac{n_{\text{зат}} \cdot t_{\text{зат}}}{t_{\text{вік}}^{\text{р}} \cdot T_{\text{рем}}} C_{\text{п-год}}, \quad (6.10)$$

де $t_{\text{вік}}^p$ – кілометри колії, що були відремонтовані за одне «вікно»;
 $T_{\text{рем}}$ – період часу в роках між ремонтами, років;

$$T_{\text{рем}} = \frac{\Gamma_{\text{н}}^{\text{бр}}}{(Q_{\text{бр}}^{\text{ван}} \cdot n_{\text{ван}} + Q_{\text{бр}}^{\text{пс}} \cdot n_{\text{пс}})365}, \quad (6.11)$$

де $\Gamma_{\text{н}}^{\text{бр}}$ – норма вантажопотоку, який пропускається по лінії між ремонтами, т.

Витрати, що були отримані за формулою (6.10), збільшуються на 10 % для обліку непродуктивних простоїв локомотивів в пунктах обороту. Розрахунки доводять, що раціональне завантаження двоколіїної лінії перед введенням автоблокування становить приблизно 30–40 пар вантажних поїздів на добу з середньою масою 3–4 тис. т. Це відповідає пропускної спроможності паралельного графіка 50–60 пар поїздів на добу.

Колійні пости можна влаштовувати також на одноколіїних лініях під час напівавтоматичного блокування головним чином для забезпечення повернення підштовхуючих локомотивів. Ці пости зазвичай бувають односторонньої дії. Однак, в сучасних умовах на цих перегонах більш ефективним є влаштовувати автоблокування на первинних елементах. Воно вимагає набагато менших капітальних витрат, ніж звичайна.

Відкриття додаткових обгінних пунктів на вантажонапружених двоколіїних лініях [19], що обладнані автоблокуванням, дозволяє підвищити наявну пропускну спроможність від зменшення коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими. Ефективність цього заходу порівнюють зі скороченням інтервалу між поїздами під час автоблокування. Пропускна спроможність двоколіїної лінії з автоблокуванням дорівнює

$$n_{\text{ван}} = \frac{1440}{I} - \sum_{i=1}^k n_i^{\text{сп}} \cdot \varepsilon_i, \quad (6.12)$$

де $n_i^{\text{сп}}$ – розміри руху прискорених поїздів;

ε_i – коефіцієнт знімання вантажних поїздів прискореними;

$i = 1, 2, \dots, k$ – категорії прискорених поїздів.

З формули (6.12) виходить, що збільшити пропускну спроможність для вантажного руху можна або за рахунок збільшення загальної пропускної спроможності при скороченні I_{min} , або зменшенням пропускної

спроможності, яка знімається прискореними поїздами. Обидва ці способи пов'язані між собою, оскільки коефіцієнт зйому ε_i залежить від міжпоїзного інтервалу I_{\min} , що наведено в формулі

$$\varepsilon_{\text{пс}} = \frac{2 \cdot I_{\min} \cdot \Delta + \frac{60 \cdot l_{\text{ср}}}{v_{\text{ван}}} (1 - \Delta)}{I_{\min}} - 1, \quad (6.13)$$

де $l_{\text{ср}}$ – середня відстань між обгінними пунктами, км;

$v_{\text{ван}}$ – середня ходова швидкість вантажних поїздів, км/год.;

Δ – співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів.

Сумарні витрати, що пов'язані з опануванням перевезеннями в порівнювальних способах, визначаються за формулами [14]

$$E_{\text{с}}^{\text{и}} = K_{\text{ен}} + \sum_{t=1}^{t_{\text{р}}} \frac{C_{\text{ен}}}{(1 + E_{\text{н}})^t} + \sum_{t=1}^{t_{\text{ср}}} \frac{E_{\text{обг}} + E_{\text{вік}}}{(1 + E_{\text{н}})^t}, \quad (6.14)$$

$$E_{\text{с}}^{\text{о}} = K_{\text{оп}} + \sum_{t=1}^{t_{\text{р}}} \frac{C_{\text{ен}}}{(1 + E_{\text{н}})^t} + \sum_{t=1}^{t_{\text{ср}}} \frac{C_{\text{оп}} + E_{\text{обг}} + E_{\text{вік}}}{(1 + E_{\text{н}})^t}, \quad (6.15)$$

де $E_{\text{с}}^{\text{и}}$, $E_{\text{с}}^{\text{о}}$ – сумарні зіставні витрати, які пов'язані з опануваннями розмірами руху, скороченням інтервалу між поїздами і відстані між обгінними пунктами відповідно, грн.;

$K_{\text{ен}}$, $K_{\text{оп}}$ – капіталовкладення на посилення системи електропостачання та спорудження обгінних пунктів відповідно, грн.;

$C_{\text{оп}}$, $C_{\text{ен}}$ – річні витрати на утримання обгінних пунктів, які пов'язані з витратою електроенергії і змістом контактної мережі і тягових підстанцій, із зупинками поїздів для обгону і затримками поїздів під час надання «вікон», грн.;

t – поточний рік експлуатації лінії;

$t_{\text{ср}}$ – однаковий термін дії порівнюваних заходів, років;

$t_{\text{р}}$ – кінцевий термін підсумовування витрат, років.

Витрати, які пов'язані з посиленням системи електропостачання, або беруть з проекту, або розраховують за укрупненими нормами (в передпроектних обґрунтуваннях).

Виконані за формулами (6.14) та (6.15) розрахунки виявили, що відкриття додаткових обгінних пунктів на двоколійних лініях, які обладнані автоблокуванням, є ефективним при вихідних середніх відстанях між ними, які перевищують 25–30 км. При менших відстанях спинити зростаючі розмірами руху ефективніше за рахунок скорочення інтервалу між поїздами.

Контрольні запитання до блоку 6.1

1. За рахунок чого зменшують довжину перегонів?
2. До чого призводить подовження станційних колій в бік обмежуючого перегону?
3. При яких засобах зв'язку відкриваються додаткові пости на двоколійних лініях?
4. За рахунок чого з'являється економія від скорочення затримок поїздів під час надання «вікон»?
5. Що дозволяє підвищити наявну пропускну спроможність на вантажнонапружених двоколійних лініях, які обладнані автоблокуванням?

6.2. Підвищення пропускну спроможності залізничних напрямків за рахунок будівництва других колій на одноколійних лініях

Найбільше збільшення пропускну спроможності одноколійної лінії можна отримати завдяки будівництву додаткових колій на перегонах. В сучасних умовах, коли технічний прогрес відкриває великі можливості в автоматизації управління як окремими пристроями і об'єктами, так і процесами регулювання руху поїздів на ділянках та напрямках, суцільна друга головна колія на одноколійних лініях в нормальних умовах розвитку є недоцільною. Капітальні вкладення на її будівництво значні, але отримується при цьому триразове і навіть більше збільшення пропускну спроможності, яке зазвичай на початку його експлуатації не викликається потребами в перевезеннях і тому найчастіше економічно не виправдано. Більш обґрунтовано поетапне будівництво другої колії. Лише коли темп зростання обсягу перевезень є великим, часткове укладання других колій може бути нераціональним.

Другі колії можна розміщувати на лінії різними способами [2]: поперегінно, двоколійними вставками для безупинкових схрещень одиночних поїздів, пакетів поїздів і блок-поїздів, а також різними комбінаціями послідовного здійснення цих способів. Найбільш відомим є спосіб, який практично реалізований у низці залізниць (Львівській, Одеській), – споруда двоколійних вставок для безупинкових схрещених поїздів. При цьому умови організації руху наближаються до двоколійних ліній,

оскільки поїзди для схрещень не зупиняються, а капітальні витрати на спорудження другої колії порівняно із суцільним прокладанням скорочуються приблизно в два рази.

Техніко-економічне обґрунтування параметрів ліній з двоколійними вставками полягає в наступному [2]. Устрій двоколійних вставок в різних умовах експлуатації і розвитку одноколійних ліній передбачає вирішення двох основних питань: визначення довжини кожної вставки l_B і середньої відстані між їх вісями $l_{Ц}$ при виконанні вимог по розташуванню їх в плані та профілі. Довжина двоколійної вставки, яка забезпечує беззупинкове схрещення двох поїздів, визначається виходячи з їх руху без зниження встановленої швидкості. Середня довжина вставки під час перетину одиночних поїздів в загальному випадку може бути подана залежністю

$$l_B = a_B + b_B \cdot v_X. \quad (6.16)$$

Середня відстань між вставками під час стабільного вантажопотоку визначається необхідним рівнем пропускної спроможності n_B :

$$l_{Ц} = \frac{12 \cdot v_X}{n_B}. \quad (6.17)$$

Під час зростаючого вантажопотоку визначаються відстань між вставками та наявна пропускна спроможність лінії, які повинні відповідати терміну експлуатації лінії з моменту спорудження вставок до переходу до суцільної другої колії t_B . В цьому випадку $l_{Ц}$ визначиться з умови [2]

$$\frac{12 \cdot v_X}{l_{Ц}} = \beta_p \left[\frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t_B) \cdot \kappa_H \cdot 10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{бр}} + \varepsilon_{пс}^B \cdot (n_{пс}^0 + n_{пс}^Г \cdot t_B) \right], \quad (6.18)$$

де Γ_0 , $n_{пс}^0$ – річний вантажопотік і добові розміри пасажирського руху на лінії відповідно в рік введення вставок в експлуатацію;

ε , $n_{пс}^Г$ – середньорічний темп зростання вантажопотоку і добової кількості пасажирських поїздів відповідно;

$\varepsilon_{пс}^B$ – коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими на лінії з двоколійними вставками.

Замінюючи у формулі (6.18)

$$\beta_p \cdot \left(\frac{\Gamma_o \cdot \kappa_H \cdot 10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}} + \varepsilon_{\text{ПС}}^B \cdot n_{\text{ПС}}^o \right) \text{ на } n_B^o$$

$$\beta_p \cdot \left(\frac{z \cdot \kappa_H \cdot 10^6}{365 \cdot \phi \cdot Q_{\text{бр}}} + \varepsilon_{\text{ПС}}^B \cdot n_{\text{ПС}}^r \right) \text{ на } n_r$$

після перетворень отримаємо залежно від потрібної пропускної спроможності і терміну експлуатації лінії з двоколійними вставками

$$l_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot v_x}{n_o + n_{\text{річ}} \cdot t_B}, \quad (6.19)$$

де n_o – потрібна пропускна спроможність лінії з двоколійними вставками в початковий момент в парах поїздів паралельного графіка;

$n_{\text{річ}}$ – річний приріст потрібної пропускної спроможності лінії з двоколійними вставками в парах поїздів на добу за рік;

t_B – термін закінчення експлуатації двоколіїних вставок, років.

Оптимальний термін експлуатації лінії від споруди вставок до суцільної другої колії встановлюються техніко-економічними розрахунками за мінімумом витрат [2]

$$E_{\text{В-Д}} = K_{\text{В}}(l_{\text{ц}}) + \frac{K_{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{Н}})^{t_B}} + \sum_{t=1}^{t_B} \frac{E_{\text{В}}(l_{\text{ц}})}{(1 + E_{\text{Н}})^t} + \sum_{t=t_B+1}^{t_k} \frac{E_{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{Н}})^t}, \quad (6.20)$$

де $E_{\text{В-Д}}$ – модифіковані сумарні витрати, що пов'язані зі спорудженням другої колії на лінії в два етапи (спорудження вставок на першому і суцільної другої колії на другому), а також із здійсненням перевезень за весь період з моменту введення в експлуатацію вставок до кінцевого розрахункового терміну t_k грн.;

$K_{\text{В}}(l_{\text{ц}})$ – капітальні вкладення, які залежать від $l_{\text{ц}}$, грн.;

$K_{\text{П}}(l_{\text{ц}})$ – капітальні вкладення на етапі перебудови вставок в суцільну другу колію;

$E_{\text{В}}(l_{\text{ц}})$, $E_{\text{Д}}$ – річні експлуатаційні витрати, пов'язані із здійсненням перевезень та утриманням колій, грн.

На рис. 6.3 наведено діаграму опанування вантажопотоками під час спорудження двоколіїних вставок і суцільної другої колії [2].

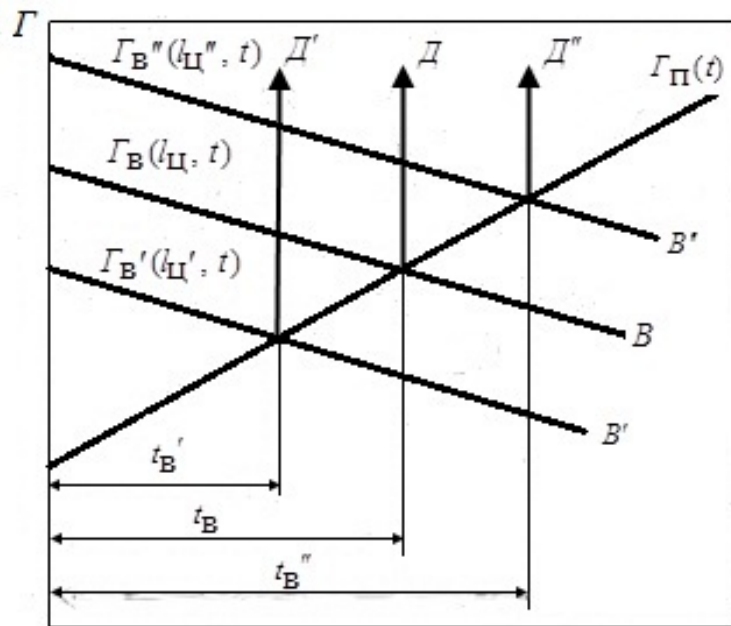


Рис. 6.3. Діаграма опанування вантажопотоками під час спорудження двоколіїних вставок і суцільної другої колії

Як зазначено в рис. 6.3, наявна пропускна спроможність під час спорудження вставок Γ_B зменшується або збільшується залежно від відстані між вставками $l_{\text{Ц}}$ (частоти їх розташування на лінії). Якщо відстані ці великі, капітальні вкладення зменшуються, але швидше настає термін влаштування суцільної другої колії. При зменшенні $l_{\text{Ц}}$ збільшуються початкові витрати, але на більший термін віддаляються капітальні вкладення на спорудження суцільної другої колії. Задача полягає в тому, щоб вибрати оптимальну величину $l_{\text{Ц}}^{\text{опт}}$ і відповідний їй термін $t_{\text{Ц}}^{\text{опт}}$, на що, крім поетапних капітальних вкладень, впливають витрати на перевезення на вставках та на другій колії.

Щоб оптимізувати параметри лінії з двоколіїними вставками, розкриємо залежності від них груп витрат у формулі (6.20). Віднесені на 1 км лінії капітальні витрати на спорудження вставок і других колій складуть:

$$K_B(l_{\text{Ц}}) = \frac{l_B}{l_{\text{Ц}}} \cdot a_B^{\text{км}},$$

$$K_{\text{Д}}(l_{\text{Ц}}) = \left(1 - \frac{l_{\text{В}}}{l_{\text{Ц}}}\right) \cdot a_{\text{Д}}^{\text{КМ}},$$

де $a_{\text{В}}^{\text{КМ}}$, $a_{\text{Д}}^{\text{КМ}}$ – вартість спорудження 1 км двоколійних вставок і другої колії відповідно, грн.

У річних перевізних та експлуатаційних витратах враховуються лише ті, які є різними на вставках і других коліях та пов'язані із зупинками поїздів для схрещень, обгонів і утриманням двоколійних вставок і додаткових інших головних колій на перегонах [2]. Витрати, що пов'язані із зупинками на лінії зі вставками і на двоколійній лінії, дещо відмінні один від одного, але різниця ця незначна. Тому їх можна не брати до уваги. Тоді зіставні експлуатаційні витрати на утримання двоколійних вставок і другої колії в розрахунку на 1 км лінії визначаються за формулами

$$E_{\text{В}}(l_{\text{Ц}}) = \frac{l_{\text{В}}}{l_{\text{Ц}}} \cdot e_{\text{КМ}}^{\text{В}} \quad \text{та} \quad E_{\text{Д}} = e_{\text{КМ}}^{\text{Д}},$$

де $e_{\text{КМ}}^{\text{В}}$, $e_{\text{КМ}}^{\text{Д}}$ – вартість утримання 1 км двоколійних вставок і другої колії, грн.

Загальні витрати в функції $l_{\text{Ц}}$ і $t_{\text{В}}$

$$E = \frac{l_{\text{В}}}{l_{\text{Ц}}} \cdot a_{\text{КМ}}^{\text{В}} + \left(1 + \frac{l_{\text{В}}}{l_{\text{Ц}}}\right) \cdot \frac{a_{\text{КМ}}^{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{Н}})^{t_{\text{а}}}} + \sum_{t=1}^{t_{\text{В}}} \frac{l_{\text{В}} \cdot e_{\text{КМ}}^{\text{В}}}{l_{\text{Ц}} \cdot (1 + E_{\text{Н}})^t} + \sum_{t=t_{\text{В}}+1}^{t_{\text{к}}} \frac{e_{\text{КМ}}^{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{Н}})^t}.$$

Замінюючи $l_{\text{Ц}}$ виразом (6.19), отримаємо залежність витрат від однієї змінної $t_{\text{В}}$

$$E_{\text{В-Д}} = \frac{l_{\text{В}} \cdot a_{\text{КМ}}^{\text{В}} \cdot (n_{\text{В}}^{\text{О}} + n_{\text{річ}} \cdot t_{\text{В}})}{12 \cdot \nu_{\text{Х}}} + \left[1 - \frac{l_{\text{В}} \cdot (n_{\text{В}}^{\text{О}} + n_{\text{Г}} \cdot t_{\text{В}})}{12 \cdot \nu_{\text{Х}}}\right] \cdot \frac{a_{\text{КМ}}^{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{НП}})^{t_{\text{В}}}} + \sum_{t=1}^{t_{\text{В}}} \frac{l_{\text{В}} \cdot e_{\text{КМ}}^{\text{В}} \cdot (n_{\text{В}}^{\text{О}} + n_{\text{річ}} \cdot t_{\text{В}})}{12 \cdot \nu_{\text{Х}} \cdot (1 + E_{\text{НП}})^t} + \sum_{t=t_{\text{В}}+1}^{t_{\text{к}}} \frac{e_{\text{КМ}}^{\text{Д}}}{(1 + E_{\text{НП}})^t}.$$

Мінімальне значення $E_{\text{В-Д}}^{\text{мін}}$ знайдемо з умови $\frac{dE_{\text{В-Д}}}{dt_{\text{В}}}$.

В результаті чого після перетворень отримаємо

$$(1 + E_{\text{НП}})^{t_{\text{В}}^{\text{ОПТ}}} + t_{\text{В}}^{\text{ОПТ}} \ln(1 + E_{\text{НП}}) = 1 + \frac{(12 \cdot \nu_{\text{X}} - n_{\text{В}}^0 \cdot l_{\text{В}}) \cdot \ln(1 + E_{\text{НП}})}{l_{\text{В}} \cdot n_{\text{річ}}}. \quad (6.21)$$

Трансцендентне рівняння (6.21) вирішимо графічно (рис. 6.4) [2].

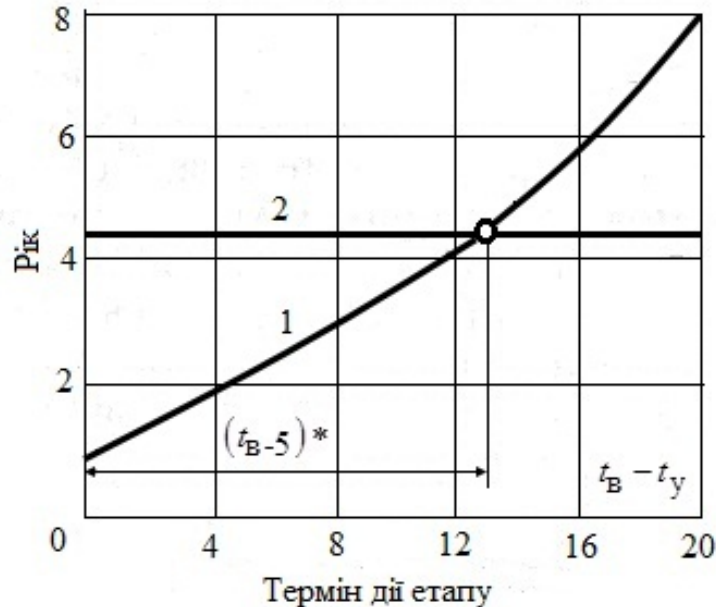


Рис. 6.4. Графічне рішення рівняння (6.21)

Крива 1 є значенням лівої частини рівняння до функцій $t_{\text{В}}$, а пряма 2 – правої частини. Оптимальний термін $t_{\text{В}}^{\text{ОПТ}}$ в цьому прикладі – 12–13 років. Як бачимо з рівняння (6.21) і рис. 6.4, оптимальний термін експлуатації лінії з двоколійними вставками для беззупинкових схрещень поїздів залежить від потрібної пропускної спроможності в початковий момент і темпу $n_{\text{В}}^0$ її зростання $n_{\text{річ}}$. Розрахунки свідчать, що оптимальний термін $t_{\text{В}}^{\text{ОПТ}}$ залежно від неї становить 7–15 років.

При середній масі поїздів 3–5 тис. т і темпах зростання вантажопотоку 0,5–1,5 млн т нетто в рік в одному напрямку спорудження двоколіїних вставок є завжди ефективнішим, ніж суцільна друга колія. При високих темпах зростання вантажопотоку оптимальний термін експлуатації вставок становить 5–7 років. В цих умовах поетапне спорудження додаткових колій можна розглядати лише під час будівництва суцільної другої колії, але не як окремі заходи для посилення пропускної спро-

можності ліній. Другі колії на одноколійних лініях можна розміщувати таким чином:

- вставками для беззупинкових схрещень одиночних поїздів, добудувати в подальшому (на другому етапі) в суцільну другу колію;

- вставками для беззупинкових схрещень пакетів поїздів (по два) або блок-поїздів;

- поперегінно, починаючи з перегонів, які обмежують і включають найбільш важкі, тобто поступово переходячи від одноколійної лінії до двоколійної.

Існують модифікації цих способів та поєднання їх в різних варіантах. Наприклад, вставки, які споруджуються на першому етапі, можна не відразу перелаштовувати в суцільну другу колію, а перед цим доповнювати або тими самими вставками в одноколійних проміжках між першими, або подовжувати для схрещення пакетів поїздів. Укладання других колій на окремих перегонах, починаючи з обмежуючого, збільшує пропускну спроможність лише при значній неідентичності перегонів. В цьому випадку пропускну спроможність лімітують перегони, які залишаються одноколійними.

Помітно збільшується пропускну спроможність, але не більше ніж на 20 %, під час спорудження других колій на перших перегонах, довжина яких становить 15–20 % протяжності ділянки. При подальшому укладанні других колій зростання пропускну спроможності найчастіше різко сповільнюється і лише за ступенем двоколійної лінії 80–85 % суттєво прискорюється. Тому часткове укладання других колій на окремих перегонах виконується, коли потрібно невелике збільшення пропускну спроможності завантаженої одноколійної лінії і темп зростання вантажопотоку також невеликий.

Двоколійні вставки [14] для беззупинкових схрещень одиночних поїздів мають суттєві експлуатаційні недоліки: труднощі утримання стрілочних переводів на перегонах, жорсткі вимоги до виконання графіка руху на кожному перегоні, значний з'йом вантажних поїздів пасажирськими та ін. Деякі з цих недоліків усуваються спорудою вставок такої протяжності, яка дозволяє здійснювати беззупинкове схрещення пакетів поїздів. Довжина кожної такої вставки складе

$$l_{\text{ВП}} = l_{\text{В}} + \frac{I}{60} \cdot v_{\text{Х}}, \quad (6.22)$$

де $l_{\text{В}}$ – середня довжина вставки, що забезпечує беззупинкове схрещення двох одиночних поїздів, км;

I – інтервал між поїздами в пакеті, хв.

При міжпоїзному інтервалі 6–7 хв. і середньої ходової швидкості руху 50–60 км/год середня довжина вставки складе 12–15 км. Це відповідає оптимальній середній відстані між окремими пунктами на одноколійних лініях. Таким чином, розміщення вставок для пакетного руху добре поєднується з попереги́нним укладанням другої головної колії. При цьому створюються можливості для організації руху поїздів з невинними схрещеннями і усуваються недоліки, які властиві вставкам, що розміщені на перегонах. Якщо враховувати, що подовжені вставки стійкіше забезпечують беззупинкове схрещення поїздів при внутрідобовій нерівномірності розмірів руху, а також через стохастичну природу руху поїздів, то стає зрозумілим їх техніко-економічна ефективність порівняно зі вставками звичайної довжини. Порівняльна ефективність двоколійних вставок звичайної довжини (для схрещення одиночних поїздів) і подовжених (для пакетів) встановлюється за ступенем двоколійних ліній за варіантами

$$l_{\text{в}}/l_{\text{ц}} < (\text{або } >) l_{\text{вп}}/l_{\text{цп}}, \quad (6.23)$$

де $l_{\text{цп}}$ – середня відстань між центрами двоколійних вставок, що забезпечує беззупинкове схрещення пакетів поїздів, км.

Відстані між вставками $l_{\text{ц}}$ і $l_{\text{цп}}$ встановлюються за потрібною пропускною спроможністю лінії $n_{\text{п}}$:

$$l_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot v_{\text{х}}}{n_{\text{п}}} \quad \text{і} \quad l_{\text{цп}} = \frac{24 \cdot v_{\text{х}}}{n_{\text{п}}}.$$

Замінюючи в умові (6.23) довжини вставок та відстані між ними цими виразами, отримаємо розгорнуту умову для порівняння розглянутих варіантів,

$$\frac{(3,75 + 0,033 \cdot v_{\text{х}}) \cdot n_{\text{п}}}{12 \cdot v_{\text{х}}} < (\text{або } >) \frac{\left(3,75 + 0,033 \cdot v_{\text{х}} + \frac{I}{60} v_{\text{х}}\right) \cdot n_{\text{п}}}{24 \cdot v_{\text{х}}}, \quad (6.24)$$

кожна частина якого визначає ступінь двоколійних ліній у варіантах при забезпеченні одного і того ж рівня пропускної спроможності. Перетворюючи умову (6.24), отримаємо

$$3,75 < (\text{або } >) \frac{I - 2}{60} \cdot v_{\text{х}}.$$

Останній вираз доводить, що при середніх ходових швидкостях вантажних поїздів 50–60 км/год двоколіїні вставки, які забезпечують схрещення пакетів, знижують сумарну протяжність других колій порівняно зі вставками для беззупинкових схрещень одиночних поїздів при інтервалах 5 хв. і менше. Ці інтервали на перегонах із сучасною технікою управління рухом і локомотивами цілком реальні.

Більш точно слід порівнювати способи розміщення вставок других колій на стадії проектних розробок в конкретних умовах або на основі ретельного аналізу техніко-економічних показників схрещень поїздів в різних варіантах. Розрахунки показують, що більш ніж двохетапна перебудова одноколіїних ліній в двоколіїні є ефективною дуже рідко. Наприклад, триетапна перебудова є не вигідною через невеликі темпи зростання вантажопотоку. З огляду на це варіанти триетапного пристрою других колій не має сенсу.

Контрольні запитання до блоку 6.2

1. Якими способами можливо розміщувати другі колії на залізничних лініях?
2. В чому полягає техніко-економічне обґрунтування параметрів ліній з двоколіїними вставками?
3. Якими способами можна розміщувати другі колії на одноколіїних лініях?

7. ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК БУДІВНИЦТВА ДОДАТКОВИХ ГОЛОВНИХ КОЛІЙ НА ДВОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ, КОРОТКОЧАСТНІ ЗАХОДИ ФОРСУВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТА ЗАХОДИ ПОСИЛЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЯХ

7.1. Збільшення пропускної спроможності залізничних напрямоків за рахунок зменшення довжини перегонів

Збільшення завантаження ліній технічно є можливим і економічно доцільним лише до певних меж, при досягненні яких різко підвищується собівартість перевезень. Тому витрати на спорудження додаткової третьої або навіть четвертої головної колії будуть виправдовуватися. Спорудження цих колій слід розглядати як захід кінцевого розвитку пропускної спроможності двоколіїних ліній, і виконувати його тоді, ко-

ли всі інші способи посилення використані, а відхилення вантажопотоку на паралельні напрямки є не вигідним. До того ж цей захід вимагає обґрунтування – порівняння організації руху блок-поїздів з будівництвом розвантажуючих ліній. Потрібно вирішити і принципове питання щодо організації руху на багатокільнісних лініях, наприклад на трьохкільнісних необхідно порівняти такі способи [24]:

- перенесення частини вантажних поїздів на третю колію під час руху пасажирських поїздів на двох інших коліях;

- пропуск пасажирських поїздів по третій колії під час вантажного руху тільки на двох інших коліях;

- комбіноване використання всіх трьох колій для пасажирського і вантажного руху;

- використання однієї з колій для пропуску вантажних поїздів з невинними обгонами їх пасажирськими в обох напрямках.

Перенесення частини вантажних поїздів на третю колію сприяє скороченню кількості обгонів їх пасажирськими, але в той самий час вимагає зупинок для схрещення. Під час пропуску по третій колії тільки пасажирських поїздів вони також будуть зупинятися для схрещення. Якщо по третій колії пропускати лише частину пасажирських поїздів, то деякі вантажні будуть зупинятися на першій чи другій колії для обгонів пасажирськими.

Під час комбінованого використання всіх трьох колій для пасажирського і вантажного руху існуватимуть зупинки вантажних поїздів для обгону пасажирськими і, крім того, на одній із колій – зупинки вантажних та пасажирських поїздів для схрещень між собою. Організація беззупинкових обгонів вантажних поїздів пасажирськими з використанням для цього третьої колії в обох напрямках дозволяє значно скоротити зупинки вантажних поїздів і підвищити швидкість руху, але також вимагає додаткових витрат на укладання та утримання з'їздів між головними коліями.

Щоб вирішити питання доцільного розподілу руху на трьохкільнісних лініях, порівнюють витрати, які пов'язані із зупинками вантажних та пасажирських поїздів під обгонами і схрещеннями, а також капітальні витрати на спорудження додаткових з'їздів між головними коліями. У технічному відношенні найбільшою складністю є організація беззупинкових обгонів вантажних поїздів пасажирськими. Найбільш сприятливі умови для цього є в обох напрямках руху на третій колії при нефіксованих ділянках обгонів, коли на з'їздах, що були покладені між головними коліями, можна відхилити вантажні поїзди. Відстані між вісями вставок одного напрямку $l_{\text{ц}}^{\text{обг}}$ визначають з умови [14]

$$\frac{l_{\text{ц}}^{\text{обг}}}{v_{\text{ван}}} - \frac{l_{\text{ц}}^{\text{обг}}}{v_{\text{пс}}} = \frac{I_{\text{ван}}}{60}$$

чи

$$l_{\text{ц}}^{\text{обг}} = \frac{I_{\text{ван}} \cdot v_{\text{ван}}}{60 \cdot (1 - \Delta)},$$

де $v_{\text{ван}}$, $v_{\text{пс}}$ – середні ходові швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів, км/год.;

$I_{\text{ван}}$ – середній інтервал між вантажними поїздами, хв.;

Δ – відношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів.

Мінімальну відстань, яку проходить вантажний поїзд по третій колії за час обгону (довжина ділянки обгону $l_{\text{об}}^{\text{min}}$), можна знайти з рівняння [14]

$$\frac{2 \frac{l_{\text{пс}}}{2} + l_{\text{м}}^{\text{пс}} + 4 \cdot l_{\text{бл}} + l_{\text{вх}} + l_{\text{об}}^{\text{min}}}{v_{\text{пс}}} = \frac{l_{\text{об}}^{\text{min}} - 2 \frac{l_{\text{ван}}}{2} - l_{\text{м}}^{\text{ван}} - l_{\text{вс}}^{\text{ван}}}{v_{\text{ван}}}, \quad (7.1)$$

де $l_{\text{пс}}$, $l_{\text{ван}}$ – відповідна довжина пасажирського та вантажного поїздів, км;

$l_{\text{м}}^{\text{пс}}$, $l_{\text{м}}^{\text{ван}}$ – відстані, які проходять пасажирські та вантажні поїзди відповідно за час приготування маршрутів, км;

$l_{\text{бл}}$ – довжина блок-ділянки, км;

$l_{\text{вс}}^{\text{ван}}$ – відстань, яку проходить вантажний поїзд за час сприйняття машиністом локомотива показання сигналу, км;

$l_{\text{вх}}$ – відстань від вхідного сигналу до граничного стовпчика на станції, км;

$l_{\text{об}}^{\text{min}}$ – довжина ділянки обгону, км.

Прийнявши

$l_{\text{пс}} = 0,5$ км; $l_{\text{ван}} = 1$ км; $l_{\text{вх}} = 0,1$ км; $l_{\text{вс}}^{\text{ван}} = 0,15$ км; $l_{\text{м}}^{\text{ван}} = 0,075$ км; $l_{\text{м}}^{\text{пс}} = 0,125$ км і вирішуючи рівність (7.1) щодо $l_{\text{об}}^{\text{min}}$ отримаємо

$$l_{\text{об}}^{\text{min}} = \frac{1 + 4 \cdot l_{\text{бл}} \Delta + 1,2}{(1 - \Delta)}. \quad (7.2)$$

З урахуванням необхідного подовження ділянки обгону на випадок відхилення поїздів від графіка до 2 хв. отримаємо середню довжину ділянки обгону

$$l_{об}^{cp} = l_{об}^{min} + 0,033 \cdot v_{ван}. \quad (7.3)$$

При відомій довжині ділянки обгону $l_{об}^{cp}$ та відстані між вісями ділянок $l_{ц}^{об}$ ступінь використання третьої колії для обгонів в одному напрямку (ступінь триколіїності лінії для одного напрямку) складе [14]

$$\begin{aligned} \frac{l_{об}^{cp}}{l_{ц}^{об}} &= \left[\frac{(1 + 4 \cdot l_{бл})\Delta + 1,2}{1 - \Delta} + 0,033 \cdot v_{ван} \right] \cdot \frac{I_{ван} \cdot v_{ван}}{60 \cdot (1 - \Delta)} = \\ &= \frac{60}{I_{ван}} \cdot \left(\frac{1 + 4 \cdot l_{бл} - 0,033 \cdot v_{гр}}{v_{пс}} + \frac{1,2}{v_{ван}} + 0,033 \right). \quad (7.4) \end{aligned}$$

При десятихвилинному середньому інтервалі між вантажними поїздами та середніх ходових швидкостях руху поїздів $v_{ван} = 60$ км/год. та $v_{пас} = 100$ км/год. необхідна для беззупинкових обгонів поїздів в одному напрямку триколіїність лінії складе

$$\frac{60}{10} \cdot \left(\frac{1 + 4,0 - 0,033 \cdot 60}{100} + \frac{1,2}{60} + 0,033 \right) \approx 0,5.$$

Таким чином, суцільна третя колія технічно дозволяє здійснювати беззупинкові обгони вантажних поїздів пасажирськими в обох напрямках. Межа економічно вигідної частоти розташування з'їздів між головними коліями, які використовуються для обгону, розраховують з умови

$$\frac{4}{l_{ц}^{ск}} (K_c \cdot E_H + e_c) \leq E_{зуп}^{min}, \quad (7.5)$$

де $l_{ц}^{ск}$ – відстань між вісями обгінних ділянок, км;

K_c – вартість спорудження одного з'їзду, грн.;

e_c – експлуатаційні витрати на утримання одного з'їзду, грн. на рік;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$E_{зуп}^{\min}$ – мінімальні сумарні витрати, що пов'язані із зупинками поїздів та відповідні переносу на третю колію пасажирського руху, грн./км на рік.

Контрольні запитання до блоку 7.1

1. До яких меж можливо та економічно доцільно збільшення завантаження ліній?
2. Коли слід розглядати як захід для збільшення пропускної спроможності спорудження додаткових колій?
3. Коли потрібно вирішити принципове питання організації руху на багатоколійних лініях?
4. Які годинні витрати враховуються під час комбінованого використання всіх трьох колій для пасажирського і вантажного рухів?
5. Які витрати порівнюють під час вирішення питання доцільного розподілу руху на триколіїних лініях?

7.2. Заходи короткочасного форсування пропускної спроможності

Короткочасне форсування пропускної спроможності ділянок є необхідним через сезонність перевезень деяких вантажів, нерівномірності потоків за періодами доби, а також під час планових або непередбачених перервах руху.

Способи короткочасного посилення пропускної спроможності [2]:

– винятковий захід: відправлення поїздів з розмежуванням часу на одноколіїних і двоколіїних лініях. Застосовують його на ділянках, які не є обладнаними автоматичним блокуванням, та тільки в світлий час доби і в кожному окремому випадку за реєстрованим наказом чергового поїзного диспетчера. Пропускна спроможність при цьому типу організації руху для світлого часу доби розраховують за формулами частково-пакетного графіка;

– використання неправильної колії на двоколіїній лінії дозволяє збільшити пропускна спроможність в одному напрямку. Найчастіше цей спосіб використовують для пропуску поїздів вантажного напрямку по найбільш важким перегонам ділянки, коли пропускна спроможність в зворотному невантажному напрямку використовується неповною мірою;

– з'єднання поїздів забезпечує різке підвищення пропускної спроможності під час здійснення масових короткочасних перевезень без істотних реконструктивних заходів на ділянках і станціях. Теоретично під час здвоювання поїздів пропускна спроможність можна збільшити

вдвічі. Однак практично деякі поїзди не можна поєднувати один з одним. До того ж доводиться враховувати можливості з'єднання та роз'єднання поїздів на ділянках і станціях і необхідність забезпечення схрещень і обгонів поїздів різної довжини на проміжних роздільних пунктах. Залежно від потреб в посиленні пропускної спроможності і технічного оснащення станцій і ділянок та їх колійного розвитку, з'єднані поїзди пропускають в різних варіантах: в одному напрямку – протягом усієї доби або в першу її половину, в другу – в зворотньому та пачками поперемінно в обох напрямках. Оскільки швидкість руху з'єднаних поїздів така сама, як і одиночних, пропускну спроможність ділянки розраховують за формулами звичайного графіка, з огляду на частку з'єднання поїздів і деяке збільшення інтервалів на перегонах і станціях їх об'єднання та роз'єднання;

– караванний рух для одностороннього пропуску великої кількості поїздів в короткі терміни. Раніше це застосовувалося тільки в разі крайньої необхідності. Попутні поїзди слідували по ділянці один за одним на відстані видимості хвостових сигналів з наступного локомотиву (200 м). Ця відстань повинна бути рівною або більше гальмівного шляху на найбільшому спуску. Тому швидкість руху каравану зазвичай не може перевищувати 20 км/год.

Пропускну спроможність одноколійної ділянки визначають за формулами частково-пакетного графіка, а двоколійної – в кожному напрямку за формулою

$$n = \frac{T_k}{I_k}, \quad (7.6)$$

де T_k – час, що використовується для караванного руху поїздів, хв.;

I_k – інтервал між поїздами в каравані, хв.

В сучасних умовах є відомою практика організації караванного руху на одноколійних ділянках як спосіб посилення пропускної спроможності в оперативних умовах, проте сфери його раціонального використання техніко-економічно не підтверджено.

Живе блокування як тимчасове посилення пропускної спроможності ділянки полягає в тому, що регулювання руху поїздів за принципом автоматичного блокування здійснюється вручну. Живе блокування можна організувати як на одноколійних, так і на двоколійних ділянках. Сигналістів розподіляють вздовж колії на відстані, яка забезпечує чітку видимість сигналів: вона повинна бути не меншою за гальмівний шлях

при цій швидкості. Пропускна спроможність розраховують за формулами частково-пакетного графіка.

Контрольні запитання до блоку 7.2

1. В яких випадках є необхідним короткочасне форсування пропускної спроможності ділянок?
2. Який існує винятковий захід короткочасного посилення пропускної спроможності?
3. За якими варіантами для збільшення пропускної спроможності пропускають з'єднані поїзди?

7.3. Заходи посилення пропускної спроможності на електрифікованих ділянках

На відміну від експлуатованих на автономних видах тяги електрифіковані ділянки мають свої особливості. Електровіз разом із системою електропостачання характеризується змінною потужністю, яка зменшується під час збільшення розмірів руху, маси поїздів і скороченням інтервалу між ними на ділянці. Це тісно пов'язує технічні параметри системи електропостачання з режимом руху поїздів на ділянці. Крім того, будь-які зміни пристроїв лінії, які пов'язані з освоєнням зростаючих перевезень, вимагають приведення їх у відповідність з пристроями електропостачання [25].

Обмеження пропускної спроможності електропостачання можна відчувати на ділянках системи постійного струму. Причому цей вплив визначається в випадках, коли сумарна маса знаходиться на фідерній зоні поїздів, Q більше за номінальну Q_n , за якою обчислюється потужність пристроїв електропостачання. Чим більше різниця між максимальним значенням Q_{max} і Q_n , тим частіше відбуваються події, які пов'язані із затримками у пропуску поїздів.

Разом з тим обмеження в системі електропостачання можна регулювати зміною черговості у пропуску поїздів різної маси, тоді сумарна маса поїздів, які знаходяться на фідерній зоні, не буде перевищувати розрахункову для системи електропостачання.

Для кількісної оцінки впливу потужності пристроїв електропостачання на пропускна спроможність ділянок було вивчено характеристики поїздопотоків з урахуванням ймовірнісної природи сумарної маси поїздів, які потрапляють на фідерні зони [14]. Розподіл сумарної маси двох і більше поїздів, які одночасно знаходяться на фідерній зоні, підпорядковано нормальному закону розподілення (рис. 7.1), що харак-

теризує роботу системи електропостачання під час випадкової черговості проходження поїздів.

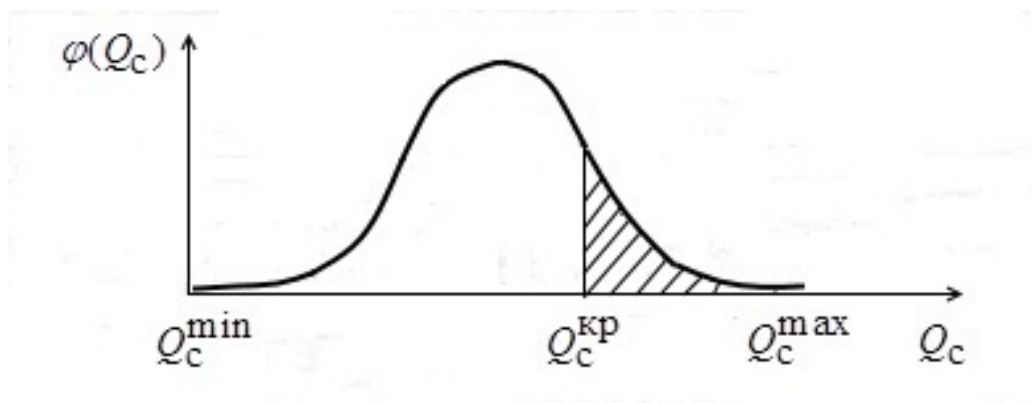


Рис. 7.1. Гістограма розподілу сумарної маси поїздів

Значення критичної маси $Q_c^{кр}$ поділяє цей розподіл на дві частини. Все, що розташовано лівіше неї, належить до сумарної маси поїздів, при якій вони можуть бути пропущені по ділянці без будь-яких обмежень. Якщо ця сумарна маса перевищить значення критичної, до якої розрахована система електропостачання (заштрихована частина гістограми), режим пропуску поїздів треба змінити: або збільшити інтервал між ними, або знизити швидкість їх руху. У всіх випадках заштрихована частина гістограми пов'язана з обмеженням пропускної спроможності ділянки. Імовірність таких подій – площа гістограми, яка обмежена $Q_c^{кр}$, Q_c^{max}

$$P(Q_c^{кр} \leq Q_c \leq Q_c^{max}) = \int_{Q_c^{кр}}^{Q_c^{max}} f(Q_c) dQ_c, \quad (7.7)$$

де $f(Q_c)$ – щільність ймовірностей сумарної маси поїздів на фідерній зоні.

Під час регулювання руху поїздів в оперативних умовах для зниження впливу пристроїв електропостачання на пропускну спроможність безперервно перевіряється умова

$$\sum_{i=1}^k Q_i \leq Q_c^{кр}, \quad (7.8)$$

де Q_i – маса поїздів, які послідовно надходять на фідерну зону, т;

k – загальна кількість поїздів, які можуть перебувати в зоні енергоживлення.

Якщо сумарна маса групи k поїздів перевищує критичну, змінюється черговість їх пропуску по ділянці. Можливість такої зміни є практично на всіх напрямках і особливо там, де ця ділянка лімітує пропуск поїздів на напрямку.

У техніко-економічних розрахунках способів посилення потужності електропостачальних пристроїв, кількості затриманих поїздів в зв'язку з перевантаженням зон енергопостачання та часу затримки визначаються за формулами теорії масового обслуговування [19]. До можливих способів посилення потужності електропостачальних пристроїв постійного струму відносяться:

- збільшення сумарного перерізу дротів контактної мережі;
- збільшення потужності існуючих тягових підстанцій;
- стабілізація напруги на тягових підстанціях;
- спорудження додаткових тягових підстанцій;
- збільшення потужності тягових підстанцій і застосування фідера підвищеної напруги;
- перехід на систему змінного струму.

Вибір способу підсилення електропостачання, а в загальному випадку – системи заходів поетапного нарощування результативної потужності, здійснюється в комплексі з етапним розвитком пропускної спроможності лінії.

Збільшення сумарного перетину дротів контактної мережі знижує втрати енергії в тяговій мережі і дозволяє забезпечити нормований рівень напруги на струмоприймачі електровоза. Однак, контактна підвіска вимагає значних витрат дефіцитних кольорових металів. Крім того, ефективність цього заходу обмежена опором рейкового кола і міцністю підпор контактної мережі.

Встановлювання перетворювачів, які з'єднані послідовно, дозволяє довести потужність існуючих тягових підстанцій до 10–12 тис. кВт і забезпечити їх безаварійну роботу. Однак, це вимагає посилення контактної мережі та також обмеження в електричному і механічному відношеннях [25].

Стабілізація напруги на тягових підстанціях усуває коливання напруги живильної системі електропостачання. Пристрої стабілізації компенсують внутрішнє падіння напруги в тягових агрегатах і з їх допомогою напругу в контактній мережі можна підвищити в порівняно з номінальним приблизно на 7–8 %.

Будівництво додаткових тягових підстанцій дозволяє різко поліпшити електропостачання ділянок, але вимагає значних капітальних вкладень. Найбільш ефективними є одноагрегатні підстанції з одноступеневою трансформацією, які мають менші габарити та низьку вартість.

Збільшення потужності тягових підстанцій і застосування фідера підвищеної напруги забезпечують необхідний рівень напруги протягом всієї фідерної зони.

Контрольні запитання до блоку 7.3

1. Які особливості при використанні електричної тяги від автономної?
2. Яким чином можливо регулювати обмеження в системі електропостачання?
3. Які існують способи посилення потужності електропостачальних пристроїв постійного струму?
4. Які заходи знижують витрати енергії в тяговій мережі?

8. КОМПЛЕКСНЕ ПОСИЛЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ТА ПРОВІЗНОЇ СПРОМОЖНОСТЕЙ ЗАЛІЗНИЦЬ

8.1. Посилення пропускної спроможності за рахунок електрифікації залізничних ліній

Електрифікація ліній завжди переслідує більш широкі економічні цілі, ніж збільшення пропускної спроможності. Вартість одиниці потужності електровоза порівняно з тепловозом приблизно вдвічі менше за капітальними витратами та поточними видатками на ремонт. Тому сумарні витрати, які пов'язані із розвитком пропускної спроможності та здійсненням перевізної роботи, на електрифікованих лініях нижче.

Зараз, коли електрична тяга вводиться замість тепловозної на найбільш вантажонапружених магістралях, на кожній конкретній лінії доводиться знаходити раціональний термін переходу з одного виду тяги на інший.

Складність вирішення цієї задачі пояснюється тим, що розрахунок необхідно вести на межі сфер економічної ефективності обох видів тяги. Щоб обґрунтувати рішення, необхідно, по-перше, розглянути електрифікацію в перспективній системі заходів опанування перевезеннями і, по-друге, врахувати суму факторів, які впливають на обсяги вантажних та пасажирських перевезень, темпи їх зростання, характеристику профілю лінії і структури вантажопотоку, співвідношення цін дизельного палива та електроенергії.

Вибір ліній для заміни тяги повинен бути ретельно обґрунтованим та збільшеним у міру розширення полігону електрифікації.

Визначаючи раціональний термін переходу з тепловозної тяги на електричну [25], необхідно враховувати, що частина пристроїв електропостачання, крім тягового навантаження, забезпечує електроенергією також прилеглі райони і нетягові споживачі транспорту. Тому в витратах, які пов'язані з оволодінням перевезеннями, капітальні вкладення на тягові пристрої слід враховувати повністю, а на загальні пристрої електропостачання, які забезпечують і нетягові споживачі, лише пропорційно до витрат енергії на тягу поїздів. У перспективі питома вага району навантаження на тягових підстанціях складе 50 %. Отже, пропорційна енергія цієї частини, яка витрачається тяговими підстанціями, повинна бути виключена з вартості електрифікації при порівнянні її з тягою тепловоза.

Наведені до річних поточні витрати змінюються під час переходу з тепловозної тяги на електричну через відмінності енергії, яка витрачається локомотивами та є закладеною в енергоносіях, і експлуатаційних показників роботи залізниць при двох видах тяги.

До цих показників відноситься, перш за все, швидкість руху поїздів. Суттєво впливає вид тяги і на витрати, які пов'язані з обслуговуванням та ремонтом локомотивів, а також із вмістом постійних пристроїв. Наведені до річних поточні витрати, які змінюються в зв'язку з переходом на інший вид тяги, складаються з наступних груп [14]:

- пропорційні часу знаходження вантажних поїздів в русі та механічної роботі локомотивів на їх переміщення $E_{\text{рух}}^T(E)$;
- пов'язані із зупинками вантажних поїздів для схрещень та обгонів $E_{\text{зуп}}^T(E)$;
- на пересування пасажирських поїздів $E_{\text{ПС}}^T(E)$;
- на утримання постійних пристроїв $E_{\text{П}}^T(E)$.

Загальні наведені річні витрати складуть

$$E_{T(E)} = E_{\text{рух}}^T(E) + E_{\text{зуп}}^T(E) + E_{\text{ПС}}^T(E) + E_{\text{П}}^T(E). \quad (8.1)$$

Розкриємо величини, які входять в цю формулу

$$E_{\text{рух}}^T(E) = \frac{(\Gamma_0 + z \cdot t) \cdot 10^6}{\phi \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{сп}}} \cdot \left[\frac{2 \cdot C_{n-\text{год}}^T \cdot (Q_{\text{бр}}^{\text{р}} \cdot Q_{\text{бр}}^{\text{сп}})}{v_x^T(E) \cdot (Q_{\text{бр}}^{\text{р}})} + R_{\text{км}}^T(E) \cdot (Q_{\text{бр}}^{\text{сп}}) \cdot C_e^T(E) \right], \quad (8.2)$$

де $Q_{\text{бр}}^{\text{р}}$ – розрахункова маса поїзда бруто, по якій визначають потрібну потужність локомотива при заданій швидкості на розрахунковому підйомі $i_{\text{р}}$, т;

$Q_{\text{бр}}^{\text{ср}}$ – середня маса поїзда бруто, т.

$$E_{\text{зуп}}^{\text{т}}(E) = \frac{(\Gamma_0 + \varepsilon \cdot t) \cdot 10^6}{\phi \cdot Q_{\text{ср}}^{\text{ср}}} \cdot \left[\left(\frac{1}{\beta_{\text{х}}^{\text{т}}(E)} - 1 \right) \frac{2C_{\text{пч}}^{\text{т}}(Q_{\text{бр}}^{\text{р}}, Q_{\text{бр}}^{\text{ср}})}{v_{\text{х}}^{\text{т}}(E) \cdot (Q_{\text{бр}}^{\text{р}})} + \right. \\ \left. + 3,8 (P_{\text{т}}(E) + Q_{\text{бр}}^{\text{ср}}) \cdot v_{\text{т}}^2 \cdot \kappa_{\text{зуп}}^{\text{т}}(E) \cdot C_e^{\text{т}}(E) \cdot 10^{-6} \right], \quad (8.3)$$

де $\beta_{\text{х}}^{\text{т}}(E)$ – коефіцієнт дільничної швидкості при тепловозній (електричній) тязі;

$\kappa_{\text{зуп}}^{\text{т}}(E)$ – кількість зупинок однієї пари поїздів, віднесене на 1 км лінії.

Витрати на пересування пасажирських поїздів при різних видах тяги [14] визначаються так само, як і для вантажних. Швидкості пасажирських поїздів в перспективі при електричній та тепловозній тягах будуть приблизно однаковими. Тому витрати, які пов'язані з часом перебування в русі складів пасажирських поїздів, бригад та пасажирів, можна не враховувати як постійні. Змінюватися будуть лише витрати на локомотивний парк в пасажирському русі, а також витрати, пропорційні механічній роботі локомотивів. Віднесені на 1 км лінії витрати складуть

$$E_{\text{ПС}}^{\text{т}}(E) = 365 \cdot (n_{\text{ПС}}^0 + n_{\text{ПС}}^{\text{Г}} \cdot t) \cdot \left(\frac{2C_{\text{л-год}}^{\text{т}}(E)}{v_{\text{х}}^{\text{ПС}}} + R_{\text{км}}^{\text{т}}(E) \cdot C_e^{\text{т}}(E) \right), \quad (8.4)$$

де $n_{\text{ПС}}^0$ – початкові розміри пасажирського руху на лінії, пар поїздів на добу;

$n_{\text{ПС}}^{\text{Г}}$ – середньорічне збільшення розмірів пасажирського руху;

$C_{\text{л-год}}^{\text{т}}(E)$ – вартість 1 локомотиво-години в пасажирському русі при тепловозній (електричній) тязі, грн.;

$v_{\text{х}}^{\text{ПС}}$ – середня ходова швидкість руху пасажирських поїздів, км/год.;

$R_{\text{км}}^{\text{т}}(E)$ – механічна робота локомотива при русі з пасажирським поїздом на відстані 1 км в обидва напрямки, т-км;

$C_e^{T(E)}$ – витрати, пропорційні 1 т-км механічної роботи локомотива в пасажирському русі, грн.

Економічно раціональний термін переведення лінії з тепловозної тяги на електричну встановлюють по мінімуму сумарних витрат [14]

$$E_c = \sum_{t=1}^{t_e} \frac{E_T(t)}{(1 + E_H)^t} + \frac{K_E}{(1 + E_H)^{t_e}} + \sum_{t=t_e+1}^{\infty} \frac{E_E(t)}{(1 + E_H)^t}, \quad (8.5)$$

де t_e – термін зміни виду тяги (електрифікації лінії);

K_E – капітальні витрати на електрифікацію лінії в частині, яка припадає на перевізну роботу, грн.;

$E_T(t)$, $E_E(t)$ – наведені перевізні витрати, які змінюються по роках експлуатації лінії, грн.

У комплексі заходів з опанування зростаючими перевезеннями оптимальний термін електрифікації лінії визначається порівнянням варіантів етапного розвитку пропускної спроможності одноколійних та двоколійних ліній і вибором найвигіднішого з них. У цій задачі особливий інтерес має питання доцільності електрифікації ліній на етапі між спорудою на одноколійній лінії двоколійних вставок для беззупинкових схрещень поїздів та укладанням в наступні за електрифікацією терміни суцільної другої головної колії на одноколійно-двоколійній лінії.

У разі зміни в процесі експлуатації вставок виду тяги з тепловозної на електричну вони повинні бути побудовані так, щоб порушення ідентичності перегонів, яке викликається різницею швидкостей, погашалося довжиною вставок. Середня довжина двоколійної вставки при цьому розраховується за формулою

$$l_B^{Te} = l_{\text{пг}} + \frac{t_H + t_M}{60} \cdot v_X + \frac{t_T}{60} \cdot v_X + l_D + l_D^T, \quad (8.6)$$

де $l_{\text{пг}}$ – незалежна від швидкості частину вставки, яка дорівнює довжині поїзда та стрілочних переводів, км;

v_X – середня ходова швидкість поїздів на ділянці, км/год.;

$\frac{t_H + t_M}{60} \cdot v_X$ – частина вставки, яка визначається можливою неодноразовістю підходу поїздів та часом приготування маршруту, км;

$\frac{t_T}{60} \cdot v_X$ – частина вставки, яка необхідна для гальмування до зупинки під час підходу поїздів з різницею більше ніж 2 хв., км;

l_d – частина вставки, необхідність спорудження якої викликають план і профіль колії, яка примикає до існуючих роздільних пунктів, та ін., км;

l_d^T – додаткове подовження вставки через неідентичність часу ходу поїздів по різних елементах профілю при тепловозній та електричній тягах, км.

На середню довжину двоколійних вставок, які проектуються для експлуатації при двох видах тяги, значно впливають профільні умови ділянок. Пояснюється це тим, що швидкості поїздів на крутих підйомах при тепловозній та електричній тягах розрізняються майже вдвічі, в той час як на спусках вони наближаються до максимально дозволених в обох видах тяги.

Тому додаткове подовження вставок по тязі зростає зі збільшенням крутизни схилів. Як зазначено в формулі 8.6, середню довжину двоколійної вставки можна уявити залежністю

$$l_B = a_B + b_B \cdot v_X, \quad (8.7)$$

де a_B – частина вставки, яка не залежить від швидкості руху поїздів та яка включає довжину поїзда, стрілочних горловин та додаткові подовження за планом, профілем і поєднанню тяги, км;

b_B – коефіцієнт, який характеризує залежність довжини вставки від ходової швидкості. На його значення впливає час неодночасного підходу поїздів, приготування маршруту та гальмування під час зупинки;

v_X – середня ходова швидкість руху, км/год.

Будівельна довжина двоколійної вставки складе

$$l_B = a_B + b_B \cdot v_X - \alpha_{рп} \cdot l_{рп}, \quad (8.8)$$

де $l_{рп}$ – середня довжина площадки роздільних пунктів, км;

$\alpha_{рп}$ – коефіцієнт, який характеризує використання майданчиків роздільних пунктів під час проектування двоколійних вставок.

Значення коефіцієнтів, які входять до формули (8.8) з достатньою для попередніх розрахунків ступенем точності буде

$$a_B = 3,5 + 0,3 \cdot (i_p - 6);$$

в межах $6 ‰ \leq i_p \leq 12 ‰$

$$a_{pp} = 1,2 - 0,004 \cdot l_{cp} + 0,01 \cdot l_{ц};$$

в межах

$$8 \text{ км } l_{cp} \leq 15 \text{ км}; 10 \text{ км } l_{ц} \leq 20 \text{ км},$$

де l_{cp} – середня відстань між станціями і роз'їздами, км;

$l_{ц}$ – середня відстань між осями вставок, км.

Коефіцієнт b_b практично не залежить від профілю колії і в середніх умовах дорівнює 0,052.

Контрольні запитання до блоку 8.1

1. Які заходи необхідні для обґрунтування рішення введення електричної тяги замість тепловозної?
2. Що необхідно враховувати при визначенні раціонального терміну переходу з тепловозної тяги на електричну?
3. З яких груп складаються поточні витрати, що змінюються в зв'язку з переходом на інший вид тяги?
4. За якими витратами встановлюють економічно раціональний термін переведення лінії з тепловозної тяги на електричну?
5. Що впливає на середню довжину двоколійних вставок, які проектується для експлуатації при двох видах тяги?

8.2. Посилення пропускної спроможності за рахунок пом'якшення профілю колії та зниженню основного опору руху

Провізна спроможність лінії при пом'якшенні профілю колії збільшується завдяки зростанню маси поїздів, навіть якщо вид тяги і тип локомотива залишаються незмінними. Разом з тим при тих самих локомотивах і більшій масі поїздів знижується середня та ходова швидкості руху, оскільки питома потужність локомотива (що припадає на 1 т маси поїзда) зменшується [14]. Однак, провізна спроможність в тоннах збільшується приблизно на 6–10 % на кожну 1 ‰ пом'якшення профілю. Економічний ефект від цього заходу виявляється насамперед зменшенням потрібної кількості локомотивів, а також локомотивних бригад, оскільки кількість поїздів скорочується, а зниження швидкості є незначним. Скорочується і витрата палива або енергії внаслідок того, що поїздів стає менше і питома маса локомотива в загальній масі поїзда

зменшується. Крім того, знижується опір руху і скорочується кількість механічної роботи, яка витрачається на переміщення поїздів; пропорційно механічній роботі зменшується витрата палива або енергії. На одноколійних лініях зменшується кількість зупинок для схрещень, які додатково знижують витрату палива або енергії, а також потребу в локомотивах.

Найбільший ефект пом'якшення профілю виникає лише в тому випадку, якщо здійснюється без подовження траси. На ділянках із зазначеними керівними ухілами зазвичай це зробити неможливо, і під час зменшення ухилу доводиться подовжувати лінію. В межах цих ділянок немає не тільки експлуатаційного ефекту, але ще погіршуються всі показники роботи і настільки знижується пропускна спроможність, що зазвичай стає потрібним будівництво додаткових роздільних пунктів. Якщо кількість ділянок, на яких зменшення ухилу значно викликає необхідність подовження траси, цей захід є економічно не вигідним.

Треба також враховувати, що пом'якшення профілю на великій відстані складно здійснити, так як зазвичай роботи виконуються в процесі інтенсивного руху поїздів. Тому в останні роки пом'якшення профілю як самостійний захід проводиться вкрай рідко. Найчастіше це виконується під час спорудження других головних колій на одноколійних лініях.

Щоб зменшити капітальні та експлуатаційні витрати, другі колії іноді прокладають по новій прилеглий трасі зі значно меншим керівним ухилом. Це є особливо ефективним на лініях з різко вираженими навантаженими та порожніми напрямками, де можна важкі поїзда пропускати по новій трасі, а порожнякові маршрути – по колишній з більш важкими профільними умовами. Таким чином, здійснюється відомий на практиці проектування залізниць принцип врівноважених ухилів [14].

Техніко-економічну ефективність пом'якшення профілю як окремого заходу, щодо збільшення провізної спроможності встановлюють, співставляючи економію від збільшення маси поїзда з капітальними витратами. Як конкурентоспроможний з ним варіант зазвичай розглядають організацію підштовхування або заміну поїзних локомотивів на більш потужні. У порівняльних варіантах сумарні витрати, які залежать як від маси поїздів, так і від швидкостей руху, зіставляють, визначаючи за формулою [14]

$$E_c = \frac{\Gamma \cdot 10^6}{\phi \cdot Q_{\text{бр}}} (\Gamma \cdot C_{\text{п-год}} + R \cdot C_3) + E_{\text{нак}} + K \cdot E_{\text{н}} + E, \quad (8.9)$$

де $Q_{бр}$ – маса поїзда бруто в цьому варіанті, т;

T, R – поїздо-години і тонно-кілометри механічної роботи, які припадають на один поїзд, що пропускається по лінії в цьому варіанті;

K – капітальні витрати за варіантами (на пом'якшення профілю, організацію підштовхування та введення більш потужних локомотивів), грн.;

E – додаткові річні експлуатаційні витрати на утримання постійних пристроїв або рухомого складу, грн.

Пом'якшення профілю є вигідним, якщо сумарні витрати менші, ніж порівняльні в варіантах із підштовхуванням і більш потужним локомотивом.

Зниження основного опору руху також дозволяє підвищити норми маси вантажних поїздів та провізну і пропускну спроможності лінії відповідно. Основні шляхи вирішення цієї задачі в масштабі Укрзалізниці – це обладнання рухомого складу роликowymi підшипниками, а також підвищення статичного навантаження вагонів.

Контрольні запитання до блоку 8.2

1. Завдяки чому збільшується провізна спроможність лінії при пом'якшенні профілю колії?
2. Завдяки чому виявляється економічний ефект від пом'якшення профілю колії?
3. Що співставляють між собою при техніко-економічному порівнянні варіанти пом'якшення профілю колії як окремий захід щодо збільшення провізної спроможності?

8.3. Посилення пропускну спроможності за рахунок зменшення міжпоїзних інтервалів

Скорочення інтервалу між поїздами до певних меж під час автоблокування підвищує пропускну спроможність як одноколійних, так і вантажнапружених двоколійних ліній. Подальше їх зниження обмежують умови руху під час зниження швидкості і входу поїздів на станції. Поїзд, який прибуває на технічну станцію, змушений завчасно знижувати швидкість руху. При малих міжпоїзних інтервалах та збільшенні часу ходу поїзда необхідність зниження швидкості або зупинки призводить до того, що наступний за ним поїзд знижує швидкість вже на більшій, ніж перший, відстані від станції. Така особливість руху по прилеглих до технічних станцій перегонах вимагає частішої розстановки прохідних світлофорів [14]. Відстань між сигналами має бути у всіх випадках не менше за довжину гальмівного шляху.

Випадкові затримки у вхідного сигналу різко збільшують втрати реальної пропускної спроможності на всьому напрямку. Причини таких затримок найрізноманітніші: ворожість маршрутів прийому і відправлення, несвоєчасне звільнення колії та ін. Найбільш часто зупинки поїздів викликає ворожість поїзних та маневрових маршрутів.

Як показує аналіз, на деяких станціях з цієї причини у вхідного сигналу зупиняється до 30 % поїздів. Тривалість зупинки коливається від мінімальної, коли в момент повної зупинки поїзда на вхідному сигналі вмикається пропускне світло, та до 10–15 хв. Залежність сумарного часу затримки поїздів від затримки першого поїзда у вхідного сигналу станції наведено на рис. 8.1. [14]

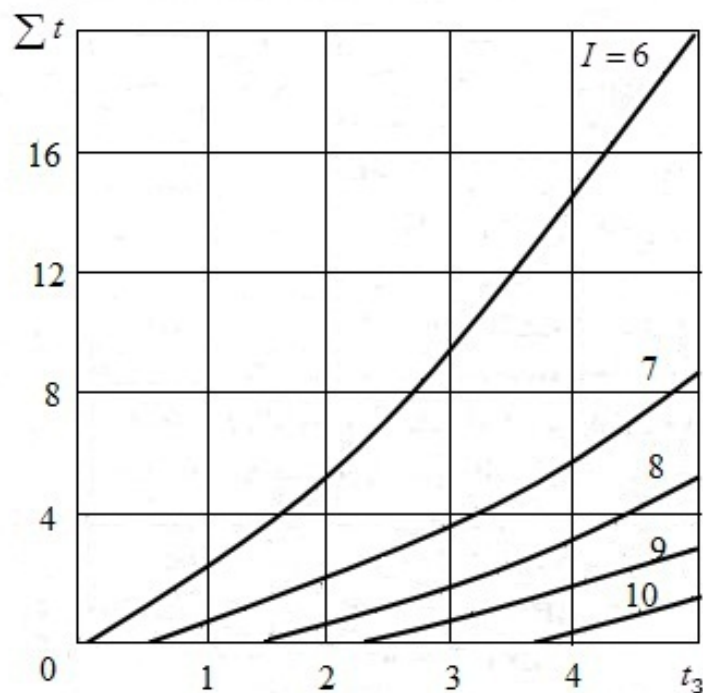


Рис. 8.1. Залежність сумарного часу затримки поїздів від затримки першого поїзда у вхідного сигналу станції

Як зазначено в рис. 8.1, затримка одного поїзда у вхідного сигналу на 5 хв. викликає при шостихвилинному інтервалі затримку наступних поїздів сумарним часом 20 поїздо-хвилин, а при десятихвилинному інтервалі її практично немає.

Досвід роботи Укрзалізниці показує, що реалізувати розрахункові міжпоїзні інтервали, які менші 7 хв., без конструктивних змін вхідних елементів на технічних станціях і споруди додаткових головних колій на прилеглих до них перегонах не вдається. Таким чином, діапазон інтервалів між поїздами від 7 до 13 хв. можна використовувати для поси-

лення пропускної спроможності двоколійних ліній, обладнаних автоблокуванням і системами інтервального регулювання, лише при технічному посиленні стиків між перегонами і технічними станціями. Зробити це можна двома способами: спорудженням так званого паралельного введення поїздів на станцію та відповідною розв'язкою підходів до вузла, який забезпечує розшарування поїздопотоків за категоріями.

Паралельне введення поїздів, при якому може існувати прийом двох поїздів, наведено на рис. 8.2. Обов'язково треба мати дві колії перегону, кожна з яких має бути призначена для руху в напрямку до станції.

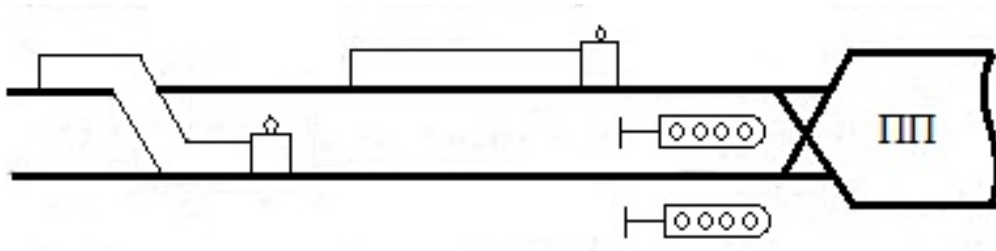


Рис. 8.2. Схема паралельного введення поїздів на станцію

Якщо одна з колій введення зайнята поїздом, який рухається з обмеженою швидкістю або зупинений біля вхідного сигналу, черговий поїзд паралельною колією слідкує до вхідного сигналу зі встановленою швидкістю. Цей паралельний рух поїздів усуває вплив умов входу на станцію на міжпоїзний інтервал. Розшарування поїздопотоків на підходах до вузлів і станцій означає виділення з нього груп поїздів (пасажирських, транзитних вантажних, вантажних, які прямують для переробки, порожніх складів та ін.) і підведення їх до спеціалізованих паркових колій або станцій по окремих підходах.

Відхилені поїзди по паралельних входах на станцію, які слідує до спеціалізованих парків, рухаються без зниження ходової швидкості. Цього можна домогтися укладанням стрілочних переводів з пологими марками хрестовин (1/18 або 1/22) [14].

Раціональну довжину паралельного входу на технічну станцію встановлюють техніко-економічними розрахунками, зіставляючи будівельні витрати на реконструкцію перегону і вхідної горловини та витратами, пов'язаними із затримками поїздів на підходах. В орієнтовних розрахунках можливої ефективності паралельних введів можна користуватися показником надійності роботи лінії, які представляють ймовірність затримки поїздів перед відхиленням на паралельні колії.

Розрахунки вказують, що при мінімальній довжині введення, яка дорівнює довжині однієї блок-ділянки, і можливості відхилення лише

пасажирських поїздів на спеціалізований підхід до пасажирської станції, надійність роботи напрямку дуже висока, а результативну пропускну спроможність під час розшарування потоку визначає мінімальний міжпоїзний інтервал, який забезпечується автоматичним блокуванням. Щодо міжпоїзних інтервалів, які забезпечуються на перегонах системою інтервального регулювання, для їх реалізації підходи до технічних станцій повинні бути двоколійними в одному напрямку з розділовими стрілками на початку підходів марок 1/18 або 1/22.

Контрольні запитання до блоку 8.3

1. Якими способами можливо посилити пропускну спроможність двоколіїних ліній, які обладнані автоблокуванням і системами інтервального регулювання?

2. Які чинники зіставляють між собою при техніко-економічних розрахунках знаходження раціональної довжини паралельного входу на технічну станцію?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем [Текст] / И. Т. Козлов – М.: Транспорт, 1985. – 214 с.

2. Макаровичин, А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог [Текст] / А. М. Макаровичин, Ю. В. Дьяков. // М. : Транспорт, 1981. – 287 с.

3. Козлов В. Е. Проблема развития пропускной и провозной способности железных дорог (теория, расчеты, внедрение) [Текст] / В. Е. Козлов // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. – М.: ВНИИЖТ, 1980. – 400 с.

4. Бородин А. Ф. Новые принципы взаимодействия узлов и направлений железных дорог [Текст] / А. Ф. Бородин // Технология перевозки грузов в условиях рыночной экономики. Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1993. – С.48–56.

5. Батурич А. П. Математическая постановка задачи развития сети железных дорог [Текст] / А. П. Батурич // Тр. МИИТ. 1990. Вып. 842. С. 75–89.

6. Дьяков, Ю. В. Рациональное соотношение параметров постоянных устройств и технического обслуживания линий [Текст]/ Ю. В. Дьяков // МИИТ. Труды: Сборник научных трудов; Вып. 657: Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог / Под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М.: с. 12–31.

7. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: ЦД – 0036 [Текст]/ К.: Транспорт України, 2002. – 36 с.

8. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте (Учеб. для вузов ж.-д. трансп.) [Текст]/ П. С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А. М. Макаровичкин и др., Под ред. П. С. Грунтова //М. : Транспорт, 1994. – 543 с.
9. Ковалев, В. И. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте. Том 2 [Текст]/ В. И. Ковалев, А. Т. Осьминин // М. 2009 – с. 426.
10. Батурич, А. П. Теория выбора оптимального развития технического оснащения сети железных дорог [Текст] / А. П. Батурич // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. – М.: МИИТ, 2000. – 336 с.
11. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог в примерах и задачах [Текст]/ И. Б. Сотников. // – М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
12. Козин, Б. С. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий. [Текст] /Б. С. Козин, И. Т. Козлов // М., Трансжелдориздат, 1964. – 156 с.
13. Дьяков, Ю. В. Комплексное усиление пропускной способности железнодорожных линий, электрифицированных на постоянном токе [Текст]/ Ю. В. Дьяков // МИИТ. Труды: Сборник научных трудов; Вып. 307: Вопросы эксплуатации железных дорог / Под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М. : Транспорт, 1969. – с. 51–65.
14. Дьяков, Ю. В. Повышение уровня использования и комплексное развитие пропускной способности железнодорожных направлений [Текст]/ Ю. В. Дьяков // дис. на соиск. уч. ст. док. техн. наук: 05.22.08. – Москва, 1984. – 475 с.
15. Макаровичкин, А. М. Повышение пропускных способностей железных дорог [Текст]/ А. М. Макаровичкин, Ю. В. Дьяков // – М. : Знание, 1985. – 63 с.
16. Козин, Б. С. Этапное развитие транспортных устройств [Текст] / Б. С. Козин// Ин-т комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. – М. : Транспорт, 1973. – 164 с.
17. Дьяков, Ю. В. Резервы провозной способности электрифицированных линий в условиях неоднородности весовых категорий поездов [Текст]/ Ю. В. Дьяков // МИИТ. Труды : Сборник научных трудов; Вып. 420: Оптимальная эксплуатация железных дорог / Под общ. ред. Ф. П. Кочнева. – М.: 1973. – с. 190–201.
18. Макаровичкин А. М. Оптимизация развития пропускной способности железнодорожных линий [Текст] / А. М. Макаровичкин. // – М. : Транспорт, 1969. – 197 с.
19. Макаровичкин, А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог [Текст]/ А. М. Макаровичкин, Ю. В. Дьяков // М.: Транспорт, 1981. – 287 с.
20. Макаровичкин А. М. Пути повышения пропускной способности транспортных систем [Текст] // Повышение пропускной способности железных

дорог и интенсификация поездной работы: Сб. Всесоюз. ин-та науч. и техн. информации / Итоги науки и техники. – М.: 1987. – с. 1–74.

21. Батурин А. П. Метод дифференциальных оценок для определения оптимальных сроков реконструкции транспортных объектов [Текст] / А. П. Батурин // Тр. МИИТ. 1992. Вып. 848. С. 4–21.

22. Адлер, Г. Исследование вопросов комплексного усиления пропускной способности двухпутных линий и входных элементов узлов [Текст]/ Г. Адлер, Ю. В. Дьяков // МИИТ. Труды : Сборник научных трудов; Вып. 469: Современные проблемы эксплуатации железнодорожного транспорта / Под ред. А. М. Макаровича. – М.: с. 42–75.

23. Айзенштадт М. З. Усиление пропускной способности двухпутных железнодорожных линий. [Текст] / М. З. Айзенштадт // Железнодорожный транспорт, 1967, № 12.

24. Козин Б. С. Экономически целесообразный уровень загрузки двухпутных линий. [Текст] / Б. С. Козин // В кн. «Вопросы эксплуатации железнодорожного транспорта». М., Трансжелдориздат, 1960. с. 46–54.

25. Вентцель, Е. С. Определение пропускной способности железнодорожных линий при лимитировании ее мощностью устройств энергоснабжения [Текст]/ Е. С. Вентцель, Ю. В. Дьяков // МИИТ. Труды : Сборник научных трудов; Вып. 385: Применение математических методов в задачах, связанных с функционированием транспортных систем/Под ред. Л. Е. Садовского – М., 1971. с. 3–22.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 3 |
| 1. ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ | 3 |
| 1.1 Поняття про транспортні потоки | 3 |
| 1.2 Математична постановка задачі навантаження на транспортну систему | 5 |
| 2. МЕТОДИ І ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ТА ПРОВІЗНОЇ СПРОМОЖНОСТЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ | 11 |
| 2.1 Загальні принципи розрахунку пропускної спроможності залізниць | 11 |
| 2.2 Розрахунок пропускної спроможності перегонів при паралельному графіку | 13 |
| 2.3 Розрахунок пропускної спроможності при непаралельному графіку | 22 |
| 2.4 Провізна спроможність залізничних ліній | 24 |
| 3. ЗАДАЧА ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТКУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ..... | 29 |
| 3.1 Визначення потреби в посиленні пропускної спроможності ліній | 29 |
| 3.2 Способи посилення пропускної та провізної спроможностей та основи їх вибору | 32 |
| 4. ВИБІР НОРМИ МАСИ ПОЇЗДА | 36 |
| 4.1 Задача вибору норм маси вантажних поїздів | 36 |
| 4.2 Вибір маси вантажного поїзда при заданому типі локомотива..... | 38 |
| 4.3 Вибір маси поїзда і типу локомотива | 41 |
| 4.4 Оптимальна довжина станційних колій..... | 47 |
| 5. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ХОДОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ГРАФІКА РУХУ ПОЇЗДІВ | 53 |
| 5.1 Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок збільшення ходових швидкостей рухомого складу..... | 53 |
| 5.2 Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок застосування пакетного графіку руху поїздів | 60 |
| 6. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНІВ ТА БУДІВНИЦТВА ДРУГИХ КОЛІЙ НА ОДНОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ | 68 |
| 6.1 Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок зменшення довжини перегонів | 68 |

| | |
|--|------------|
| 6.2 Підвищення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок будівництва других колій на одноколійних лініях..... | 76 |
| 7. ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗА РАХУНОК БУДІВНИЦТВА ДОДАТКОВИХ ГОЛОВНИХ КОЛІЙ НА ДВОКОЛІЙНИХ ЛІНІЯХ, КОРОТКОЧАСНІ ЗАХОДИ ФОРСУВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТА ЗАХОДИ ПОСИЛЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ НА ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЛІНІЯХ | 84 |
| 7.1 Збільшення пропускної спроможності залізничних напрямків за рахунок зменшення довжини перегонів | 84 |
| 7.2 Заходи короткочасного форсування пропускної спроможності | 88 |
| 7.3 Заходи посилення пропускної спроможності на електрифікованих ділянках | 90 |
| 8. КОМПЛЕКСНЕ ПОСИЛЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ТА ПРОВІЗНОЇ СПРОМОЖНОСТЕЙ ЗАЛІЗНИЦЬ | 93 |
| 8.1 Посилення пропускної спроможності за рахунок електрифікації залізничних ліній..... | 93 |
| 8.2 Посилення пропускної спроможності за рахунок пом'якшення профілю колії та зниження основного опору руху | 98 |
| 8.3 Посилення пропускної спроможності за рахунок зменшення міжпоїзних інтервалів | 100 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК | 103 |

Навчальне видання

Козаченко Дмитро Миколайович
Папахов Олександр Юрійович
Логвінова Наталія Олександрівна

ПРОПУСКНА ТА ПРОВІЗНА СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЦЬ

Навчальний посібник для студентів ВНЗ

Редактор *Л. А. Кобулія*
Комп'ютерна верстка *Л. А. Кобулія*

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 6,75. Тираж 100 пр. Зам. № 031/17.

Видавництво «Герда», 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 397 від 03.04.2001 р.

ISBN 978-617-7097-83-8