

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кафедра „Управління експлуатаційною роботою”

Т.В. Бутько, О.І. Гребцов, Т.В. Головка

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

Конспект лекцій

з дисципліни

***«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»***

Харків 2011

Буцько Т.В, Гребцов О.І., Головка Т.В. Основи теорії транспортних процесів та систем: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 62 с.

Даний конспект містить найбільш важливі теми, що відносяться до першого та другого навчальних модулів. Наведено основні положення, принципи аналізу транспортних процесів та систем, розрахункові формули, приклади використання теоретичних положень дисципліни на залізничному транспорті.

Рекомендується для студентів спеціальності 070101 «Організація перевезень і управління на транспорті» всіх форм навчання.

Іл. 15, бібліогр.: 19 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Управління експлуатаційною роботою» 19 листопада 2009 року, протокол № 6.

Рецензент

проф. Д.В. Ломотько

Т.В. Буцько, О.І. Гребцов, Т.В. Головка

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

Конспект лекцій
з дисципліни

*«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»*

Відповідальний за випуск Гребцов О.І.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 04.12.09 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,5. Тираж 100. Замовлення

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту
61050, Харків - 50, майдан Фейербаха, 7
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗНЬ

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Т.В. Бутько, О.І. Гребцов, Т.В.Головко

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА
СИСТЕМ**

Конспект лекцій
з дисципліни
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА
СИСТЕМ»

Харків 2009

Буцько Т.В, Гребцов О.І. Головка Т.В. Транспортний процес та методи раціонального формування транспортних систем: конспект лекцій. - Харків: УкрДАЗТ, 2009.

Даний конспект містить найбільш важливі теми, що відносяться до першого та другого навчальних модулів. Наведено основні положення, принципи аналізу транспортних процесів та систем, розрахункові формули, приклади використання теоретичних положень дисципліни на залізничному транспорті.

Рекомендується для студентів спеціальності 070101 «Організація перевезень і управління на транспорті» всіх форм навчання

Іл. 15, бібліогр.: 19 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри управління експлуатаційною роботою «19» січня 2009 року №7

Рецензент
доцент Д.В. Ломотько

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Вступні відомості. Основні поняття	6
1.1 Предмет, мета та завдання дисципліни	6
1.2 Поняття про системний підхід та методи системного аналізу	7
2 Загальні поняття теорії транспортних процесів	8
2.1 Визначення системи і підсистеми. Складні системи	8
2.2 Використання принципів системного підходу до управління і розвитку залізничної транспортної мережі ..	9
3 Статистична обробка характеристик транспортних процесів	10
4 Експлуатаційні показники використання транспортної системи та рухомого складу	11
4.1 Фундаментальні вимірники	11
4.2 Вимірники роботи транспорту в абсолютних величинах	14
4.3 Вимірники роботи транспорту у відносних величинах ...	16
4.4 Основні показники роботи транспорту в системі Укрзалізниці	18
5 Пропускна спроможність транспортних систем	27
5.1 Загальні поняття	27
5.2 Пропускна спроможність залізничного транспорту та її різновиди	27
5.3 Методи розрахунку пропускної спроможності	30
5.4 Пропускна спроможність на інших видах транспорту	32
6 Основи теорії транспортних потоків	33
6.1 Визначення транспортних потоків, їх види та постановка двох основних задач	33
6.2 Однотермінальні та багатотермінальні транспортні потоки	34
6.3 Основні характеристики (параметри) транспортних потоків та закони їх розподілу	35
6.4 Зв'язок між густиною та інтенсивністю транспортного потoku. Трансформація транспортних потоків	38
7 Класифікація економіко-математичних методів, що використовуються при розв'язанні задач експлуатації транспортних систем	39

8 Використання теорії графів при дослідженні транспортних систем	40
8.1 Початкові відомості	40
8.2 Типи графів	41
8.3 Суміжність у графах	44
8.4 Інцидентність	45
8.5 Інші властивості та різновиди графів	46
8.6 Прикладні задачі теорії графів для транспортних систем	50
9 Потоки в мережах	50
9.1 Загальні поняття	50
9.2 Задача про максимальний транспортний потік	51
9.3 Теорема про максимальний потік і мінімальний розріз (теорема Форда – Фолкерсона)	53
10 Використання енергоносіїв та енергозберігаючі технології на транспорті	54
10.1 Основні сучасні аспекти проблеми енергозбереження	54
10.2 Загальна характеристика енергозбереження в системі залізничного транспорту	55
10.3 Класифікатор критеріїв ефективності ресурсозберігаючих технологій на залізничному транспорті	57
Список літератури	61

ВСТУП

Методологією вивчення функціонування такої складної системи, як транспортна має бути системний підхід, що визначає систему, як комплекс функціонально взаємопов'язаних елементів (підсистем).

З позицій системного підходу транспортна система взагалі і зокрема залізнична транспортна система - це сукупність пристроїв, що призначені для виконання всіх операцій з транспортування вантажів і пасажирів і являє собою систему великої розмірності. Таку унікальну систему, як єдине ціле, можливо дослідити з метою виявлення тільки найбільш загальних закономірностей її функціонування. Тому для більш детального дослідження проводять її декомпозицію на підсистеми меншої розмірності, що виконують обмежений склад операцій перевізного процесу (залізничні напрямки, вузли, ділянки, технічні станції, локомотивні і вагонні депо та ін.). Взаємодія підсистем у часі і просторі визначається сумісністю транспортного процесу, що є неперервним, і регулюється нормативно-технологічними документами – планом формування поїздів для мережі залізниць і її напрямків та графіком руху пасажирських і вантажних поїздів.

Найбільш поширеними математичними методами, що використовуються при вивченні основ теорії транспортних процесів і систем (ОТТПС) є теорія ймовірностей і математична статистика, теорія масового обслуговування, комбінаторний аналіз, методи лінійного і нелінійного програмування, теорія графів, імітаційне моделювання.

Даний конспект лекцій не може розглядатися як повна заміна аудиторного лекційного курсу, а призначений переважно для допомоги студентам у більш якісному засвоєнні курсу, а також при самостійному вивченні деяких тем у випадках неповної відвідуваності.

1 ВСТУПНІ ВІДОМОСТІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

1.1 Предмет, мета та завдання дисципліни

Мета дисципліни – це вивчення особливостей і опис закономірностей руху транспортних потоків для одержання удосконалених методик прикладної спрямованості щодо раціональної експлуатації транспортної системи.

Предметом вивчення є сукупність трьох складових: транспортна система, транспортні потоки, транспортні процеси. Об'єкт – характеристики і показники, методи і методики аналізу транспортних систем.

Транспортна система – це сукупність пристроїв, призначених для виконання деякої сукупності операцій перевізного процесу (станції, локомотивні депо, автотранспортні підприємства і т.д.). Для однозначного визначення самої транспортної системи необхідно вказати склад операцій і технологію їх виконання. Взаємодія різних пристроїв системи виражається саме технологією перевізного процесу.

Транспортний потік – це віднесена до часового інтервалу сукупність товарно-матеріальних цінностей (поїздів, вагонів, пасажирів, тонн вантажу, автомобілів і т.д.), потік має розмірність «обсяг/одинаця часу».

Транспортні потоки доцільно розглядати з погляду взаємозв'язку їх з постійними пристроями (системою і її підсистемами).

Транспортні процеси – це функції, що виконуються транспортною системою над транспортним потоком, тобто сукупність технологічних операцій стосовно, наприклад, вантажів, пасажирів, вагонів, поїздів, автомобілів (навантаження, вивантаження, транспортування, накопичення, формування, розформування).

Методологією вивчення є системний підхід.

Вивчивши курс, студент повинен:

1) знати основні положення, систему фундаментальних вимірників, методи моделювання транспортних процесів та систем; критерії ефективності функціонування транспортних

систем; основи управління транспортними потоками; принципи організації процесу перевезень;

2) вміти аналізувати транспортні потоки та системи, описувати взаємодію елементів системи, розраховувати основні техніко-експлуатаційні та технолого-економічні показники роботи, здійснювати пошук оптимальних технічних та організаційних заходів щодо розвитку транспортних систем;

3) мати уявлення про основні положення системного аналізу, принципи створення та удосконалення роботи складних систем, застосування сучасних методів для оптимізації транспортних потоків та транспортних систем.

1.2 Поняття про системний підхід та методи системного аналізу

При системному підході враховується вся об'єктивна складність систем, що виражається в тому, що їхнє поведіння визначається великим числом взаємозалежних факторів, а властивості систем не виводяться з властивостей окремих частин та існують лише завдяки їх об'єднанню в систему. Особливістю системного підходу є також те, що система розглядається не ізольовано, а як підсистема більш високого рангу. Критерієм вибору рішення на кожному з ієрархічних рівнів є максимальна ефективність для всієї системи в цілому, а не для якоїсь окремої частини. Системний підхід має велике методологічне значення, оскільки є необхідною умовою використання математичного методу.

Відповідно до системного підходу транспортні системи, транспортні потоки і транспортні процеси доцільно розглядати як складові великої системи – єдиної транспортної системи (ЄТС) держави або всесвітньої транспортної системи (ВТС).

Транспортних систем може бути багато. З позицій системного підходу максимальна транспортна система (велика система) – це сукупність пристроїв, призначених для виконання всіх операцій транспортування вантажів і пасажирів. Таку унікальну систему, як єдине ціле, можна досліджувати лише для виявлення найбільш загальних закономірностей її функціонування.

Великий практичний інтерес становлять підсистеми, тобто транспортні системи, що виконують обмежений склад операцій перевізного процесу. При дослідженні таких підсистем сучасними методами можна більш глибоко розкрити закономірність їхнього функціонування і передбачити в планах розвитку транспорту, цілеспрямоване використання капітальних вкладень, робочої сили, матеріальних ресурсів. Для кожної підсистеми характерна складна структура взаємодіючих пристроїв.

2 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Визначення системи і підсистеми. Складні системи

Під *системою* взагалі розуміється сукупність будь-яким способом виокремлених з іншого світу реальних або віртуальних об'єктів (елементів), наприклад, залізничний транспорт або весь транспорт.

Для системи характерні такі властивості:

- а) задані зв'язки, що існують між елементами системи;
- б) кожен елемент усередині системи вважається неподільним;
- в) з навколишнім середовищем система взаємодіє як єдине ціле.

Часто також використовується інше визначення, коли систему розуміють як комплекс функціонально взаємопов'язаних елементів.

Під *великою системою* розуміється колектив людей з ієрархічною структурою організації і складними взаємозв'язками, що цілеспрямовано взаємодіє із системою технічних засобів в умовах прояву випадкових факторів. Головними відмінними рисами *великої системи* є: цілеспрямований характер з наявністю мети функціонування; наявність частин, які виділяються, – *підсистем*; *імовірнісний* характер її взаємодії із зовнішнім середовищем.

Підсистеми великої системи у свою чергу можуть бути великими системами, що також можна поділити на відповідні підсистеми і т. д.

Кожна підсистема будь-якого рівня має деякі певні, найбільш істотні риси, з огляду на які вона є частиною системи більш високого рівня.

Сучасне виробництво характеризується поділом праці і розподілом функцій між підсистемами. Унаслідок цього при вирішенні тих самих завдань різні підсистеми підприємств мають свою мету, наприклад, залізниця, яка має декілька служб та інших спеціалізованих підрозділів.

Оптимізація функціонування однієї підсистеми може ускладнити функціонування інших, а в підсумку мають бути враховані інтереси всієї системи. Тобто традиційний метод вивчення цілого шляхом аналізу частин і наступного об'єднання їхніх властивостей непридатний стосовно більшості систем.

У цих умовах основним науковим принципом аналізу і синтезу великих систем стає системний підхід, що полягає у взаємопов'язаному розгляді всіх елементів (підсистем великої системи).

2.2 Використання принципів системного підходу до управління і розвитку залізничної транспортної мережі

Залізничні транспортні системи – ділянки, напрямки, полігони мережі, вузли, технічні станції (вантажні, дільничні, пасажирські, сортувальні), локомотивні і вагонні депо і так далі – є системами великої розмірності і складаються з нижченаведених підсистем, технологічно взаємодіючих одна з іншою. Їхня взаємодія в просторі і в часі регулюється загальносистемними нормативно-технологічними документами – планом формування поїздів і графіком руху поїздів. При розробленні мережевого плану формування мережу розчленовують на окремі напрямки, тобто здійснюють розподіл на підсистеми (декомпозицію) і знижують розмірність системи. Декомпозиція великої системи пов'язана із забезпеченням конкретних завдань керування, розрахунку виробничої потужності пристроїв із застосуванням математичних методів. При цьому необхідно враховувати взаємовплив підсистем одна на одну, тому що у протилежному випадку можуть виникнути диспропорції в потужностях і

пропускних спроможностях взаємодіючих підсистем (наприклад «станція – ділянка», «залізничний напрямок – стикова станція»). Таким чином, декомпозиція і врахування взаємодії підсистем – **перший принцип**. **Другий принцип** – розрахунок навантаження на систему та його обґрунтування. Навантаженням виступають транспортні потоки. **Третій принцип** – розроблення питань управління транспортним підрозділом. Він підрозділяється на дві складові:

а) керування оперативною діяльністю в реальному масштабі часу (реалізується диспетчерським апаратом і оперативним персоналом станцій, дирекцій, залізниць);

б) керування розвитком системи для забезпечення освоєння заданого навантаження з оптимальними технічними, технологічними параметрами при виконанні показників надійності й безпеки роботи і в остаточному підсумку вибір найбільш економічних показників прибутку.

При цьому розглядається багатоваріантний розвиток. Наприклад, розвиток одноколіїної ділянки може здійснюватися різними способами:

- 1) спорудження двох головних колій на окремих перегонах;
- 2) спорудження другої головної колії (двоколіїної лінії);
- 3) використання різних систем автоматики та ін.

Четвертим принципом системного аналізу при розробленні залізничних об'єктів є встановлення комплексного критерію для вибору остаточного варіанта. Такими критеріями звичайно є економічні критерії (наприклад, максимізація прибутку, мінімізація експлуатаційних приведених витрат).

3 СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ

Застосування статистичних методів обробки характеристик (параметрів) транспортних процесів і систем є необхідним елементом сучасних досліджень у даній галузі.

Дана тема передбачає вивчення таких питань (етапів):

1) обґрунтування доцільності застосування статистичних методів. Послідовність розв'язання задачі. Обґрунтування обсягу вибірки;

2) збір та обробка результатів спостережень (систематизація статистичних даних). Визначення числа розрядів. Правила побудови гістограми;

3) статистичне дослідження результатів спостережень. Визначення основних числових характеристик розподілу. Підбір теоретичного закону (висунення гіпотези). Перевірка узгодженості кривих дослідного розподілу з теоретичним. Критерії узгодженості та їх застосування. Аналіз отриманих результатів щодо дослідження транспортних процесів.

Перелічені питання докладно викладені в [16 та 17].

4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ

4.1 Фундаментальні вимірники

Система одиниць у фізиці базується на декількох основних одиницях виміру. У галузі механіки такими одиницями є кілограм мас, метр відстані (шляху), секунда часу. Транспортні процеси хоч і протікають за фізичними законами, але при їхньому описі потрібно брати до уваги додаткову інформацію, що знаходиться за межами фізики, оскільки пасажери і вантажі, що підлягають перевезенню, не знеособлені, тобто не є доволіно один одним замінними. Тому величини і закони, уживані у фізичній теорії транспорту й у динаміці рухомого складу, недостатні для створення транспортної теорії. Для транспортної технології розроблені особливі вимірники, що фіксують явища і процеси, що відбуваються в ній.

За аналогією з фізичними одиницями виміру транспортні вимірники можуть бути зведені до декількох *основних* одиниць, що мають бути незалежними. Інші (*похідні*) параметри транспортної технології мають виражатися через них.

Система транспортних вимірників будується на базі трьох основних одиниць: транспортна маса M , транспортний шлях L , транспортний час T , а похідні вимірники виражаються через них. Система транспортних вимірників дає також величини, що в економіці можуть бути віднесені до витрат, що виникають при перевезеннях.

Транспортна маса являє собою кількість прямуючих транспортних одиниць. Цей вимірник може бути скалярним чи векторним. *Скалярна транспортна маса* складається з одиниць, які знаходяться в спокої чи в русі, для яких нічого невідомо про напрямок наміченого переміщення чи переміщення, що відбувається. *Векторна транспортна маса* містить просторово-часову інформацію про *джерело* (пункт відправлення) і *стік* (пункт призначення), а в більшості випадків і про визначений термін (час) перевезення. Це така транспортна маса, перевезення якої або вже здійснюється, або є відповідні на те розпорядження. Розмірність транспортної маси може виражатися різними одиницями виміру.

У скалярних одиницях вимірюються кількість наявних у розпорядженні одиниць рухомого складу, робочий парк вагонів, літаків, суден.

Векторною транспортною масою є кількість пасажирів або автомобілів, що у визначений момент часу знаходиться в русі на якійсь автостраді. У залежності від того, чи розглядаються самі транспортні засоби, чи ні, застосовують такі модифікації цього терміну, як «брутто», «нетто», «тара», якщо величина транспортної маси виражається у фізичних одиницях маси.

Транспортна маса не є фізичною величиною і виражається в різних одиницях виміру, тобто не можна підсумовувати кількість пасажирів з кількістю тонн вантажів для визначення загальних перевезень транспорту. Похідні величини, одержувані з основного вимірника транспортної маси, повинні розглядатися окремо, кожна у своїх одиницях виміру. Як одиницю виміру транспортної маси доцільно увести єдиний узагальнюючий основний вимірник. Варіантами такого єдиного виміру транспортної маси можуть бути поняття *обсягу перевезень* або *транспортного обсягу*.

Транспортний шлях розглядається не тільки як відстань між початковим пунктом (джерелом) і кінцевим пунктом (стоком), але характеризується і своїми напрямками, тобто транспортний шлях є векторною величиною. Транспортний шлях часто зображується відрізком прямої, який з'єднує джерело і стік, що відповідає повітряній лінії. Насправді треба враховувати фактичний шлях, що позначається як шлях проходження, маршрут проходження, маршрут перевезень. У транспортних

розрахунках використовується шлях, що утворює тарифну відстань (найкоротший шлях). Одиницями виміру транспортного шляху L є метри, кілометри, милі і т.д.

Транспортним часом T є проміжок часу, необхідний для процесу перевезень, тобто переміщення вантажу від станції відправлення до станції призначення. Для таких загальноприйнятих одиниць, як секунди, хвилини, години, на транспорті немає ніяких особливостей. Подвійне тлумачення має доба: календарна доба, робоча доба. Залізничний транспорт має безперервний процес, розрахунковим періодом є доба, яка дорівнює 24 год. До кінця розрахункової доби проводиться визначення оперативних даних про хід перевізного процесу (навантаження, вивантаження вагонів, приймання і відправлення поїздів і т. д.), тому встановлена спеціальна залізнична доба від 18.00 до 18.00, а час на 18.00 год називається звітною годиною. На добовий період розробляється графік руху поїздів (вантажних і пасажирських). Аналогічні труднощі з одиницями часу: тиждень, декада, місяць. Для року є поняття: календарний рік і бюджетний рік (за кордоном з 1.04 по 31.03).

Для транспортного часу необхідно враховувати відмінність між часом ходу і часом перебування на шляху прямування. Час ходу відповідає часу, протягом якого транспортна маса дійсно знаходиться в русі і який не містить у собі часу зупинок.

Час перебування на шляху прямування враховує пересування, зупинки на проміжних станціях, переформування поїздів, зміну транспортного засобу, очікування тощо.

При пасажирських перевезеннях час перебування пасажирів на шляху прямування підрозділяється на час підходу до початкової станції, власне час поїздки і час проходження від кінцевої станції до місця призначення. Власний час поїздки відповідає часу перебування на шляху прямування транспортного засобу.

При вантажних перевезеннях загальний час транспортування позначається часом доставки. При вимірі обертання рухомого складу вводиться час обертання, що відповідає тривалості експлуатаційного циклу. Наприклад, для вантажного вагона це проміжок часу від моменту одного навантаження до моменту наступного навантаження.

4.2 Вимірники роботи транспорту в абсолютних величинах

Вимірники транспорту оцінюють як окремі транспортні перевезення, так і процеси переміщення між окремими пунктами в їх сукупності, тобто оцінюють транспортні потоки. Похідні вимірники в загальному вигляді мають вираз добутку степеневих функцій

$$M^x L^y T^z. \quad (4.1)$$

Потужність потоку і потужність джерела. Відношення M/T розглядається як потужність потоку, так і як потужність джерела.

Потужність транспортного потоку – кількість транспортної маси, що проходить в одиницю часу у визначеному пункті чи через визначений перетин транспортного шляху у визначеному напрямку, тобто це вектор. Потужність джерела визначає віддачу ним транспортної маси в одиницю часу, тобто розвантаження джерела. Потужність джерела не має визначеного напрямку переміщення, тобто розглядається як скаляр.

Транспортна робота $\langle M \cdot L \rangle$ – скалярний добуток, де M – транспортна маса, а L можна розглядати як тарифну відстань, яка є однією з чотирьох модифікацій транспортного шляху. Поняття транспортної роботи не можна змішувати з механічною роботою, що виконує локомотив завдяки силі тяги, що розвивається, на визначеному шляху – це скалярний добуток ($F \cdot S$). Наприклад, з погляду статистики байдуже, чи прямуватиме поїзд вагою в 10^3 т на відрізок 100 км на підйом чи на ухил, тому що в обох випадках транспортна робота дорівнює 10^5 ткм. У механіці існує велике розходження в цих випадках, тому що при русі на підйом локомотив повинний виконувати роботу, а при русі під ухил надлишок енергії повинний бути реалізованим шляхом рекуперації, а в гіршому випадку – погашений гальмуванням.

Одиницями виміру транспортної роботи є тонно-кілометри, пасажиро-кілометри, які не сумуються.

Транспортна продуктивність (ML/T). Розмірність транспортної продуктивності у вантажних перевезеннях – тонно-кілометри брутто за рік, тонно-кілометри нетто за рік, у пасажирських перевезеннях – пасажиро-кілометри за рік чи поїздо-кілометри за визначений період часу.

Транспортна кількість руху (М·Т). Ця величина може характеризувати як власне процеси перевезення, так і процеси простою, наприклад вагоно-години простою.

Швидкості мають визначення, км/год (м/с),

$$v = \frac{dl}{dt} \quad (4.2)$$

Застосовуються декілька модифікацій транспортної швидкості:

1) конструкційна швидкість рухомого складу – швидкість, якої може досягти одиниця рухомого складу відповідно до її технічних характеристик;

2) середня ходова швидкість – швидкість, що визначена з урахуванням чистого часу ходу поїзда по залізничних ділянках,

$$\bar{v}_x = \frac{L}{T_x} = \frac{L}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (4.3)$$

де $\sum_{i=1}^n t_i$ – сумарний час ходу по n перегонах лінії (без розгонів, уповільнень, стоянок);

3) середня технічна швидкість – швидкість з урахуванням часу ходу, часу на розгін і уповільнення, без урахування часу стоянок

$$\bar{v}_{mex} = \frac{L}{T_x + \sum_{i=1}^n t_{py}}, \quad (4.4)$$

де $\sum_{i=1}^n t_{py}$ – сума часу на розгін і уповільнення.

Середня технічна швидкість менше середньої ходової швидкості. Середня технічна швидкість використовується при аналізі часу обігу вагона;

4) дільнична швидкість – це швидкість з урахуванням часу ходу, часу на розгін і уповільнення та з урахуванням стоянок на станціях

$$\bar{v}_o = \frac{L}{T_x + \sum_{i=1}^n t_{py} + \sum_{j=0}^k t_{zn}}, \quad (4.5)$$

де $\sum_{i=0}^k t_{zn}$ – сумарний час стоянок на проміжних станціях;

5) маршрутна швидкість – середня швидкість на всьому шляху проходження маршруту від станції формування до станції призначення з урахуванням повного часу ходу, у тому числі стоянок на дільничних і сортувальних станціях та інших витрат часу.

Усі види швидкостей використовуються при розробленні графіка руху поїздів, аналізі часу обігу вагона, у техніко-економічних розрахунках.

4.3 Вимірники роботи транспорту у відносних величинах

Відносні вимірники можуть визначатися відношенням величин як з однаковою розмірністю, що дають безрозмірні показники, так і з різною розмірністю, коли показники набувають розмірного вигляду, в тому числі виглядають як питомі величини.

Безрозмірні відносні величини, як правило, характеризують ступінь використання транспорту, що визначається відношенням виконаної роботи (завантаження технічних засобів транспорту) до можливої, при повному (стовідсотковому) використанні технічних можливостей. Ці величини можуть бути меншими, перевищувати або дорівнювати одиниці.

Прикладами поширених величин такого роду є:

а) коефіцієнт порожнього пробігу вагонів

$$k_n = \frac{\sum_{i=1}^n n_i l_{nopi}}{\sum_{j=1}^k n_j l_{zagj}}, \quad (4.6)$$

де l_{nopi} – порожній пробіг i -ї групи вагонів, км;

l_{zagj} – загальний пробіг j -ї групи вагонів, км;

б) коефіцієнт дільничної швидкості, який ще називають коефіцієнтом якості графіка руху поїздів (ГРП)

$$\beta = \frac{v_d}{v_{mex}}$$

де v_d – середня дільнична швидкість поїздів, км/год;
 v_{mex} – середня технічна швидкість поїздів, км/год.

Значення $\beta < 0,7$ на практиці свідчить про значні витрати часу на простой, тобто недостатню якість ГРП;

в) середня населеність поїзда

$$K_n = \frac{\sum A_{\delta i}}{\sum A_{mi}}, \quad (4.7)$$

де $A_{\delta i}$ – кількість придбаних квитків у i -му пасажирському поїзді;
 A_{mi} – кількість посадкових місць в i -му пасажирському поїзді.

Значення $K_n \geq 0,8$ вважаються нормальними, а при $K_n < 0,8$ прибутковість пасажирських перевезень стає недостатньою.

Розмірні відносні вимірники отримують у результаті ділення величин з різною розмірністю. Як приклади таких вимірників можна навести такі:

а) *середня далекість перевезення*, км, що визначається як відношення підсумкової транспортної продуктивності до підсумкової потужності транспортного потоку,

$$\bar{L} = \frac{\sum ML/T}{\sum M/T} \quad (4.8)$$

б) *питома транспортна потреба*, тобто середнє число поїздок, що припадає на одного мешканця населеного пункту за рік,

$$R_n = \frac{\sum M/T}{\sum M}, \quad (4.9)$$

де $\sum M/T$ – потужність пасажиропотоку, осіб/р.;

$\sum M$ – загальна чисельність мешканців населеного пункту, осіб.

Цей показник характеризує ступінь рухомості населення та істотно впливає на обсяг пасажирських перевезень та потрібну потужність пристроїв пасажирського господарства підрозділів залізниці.

4.4 Основні показники роботи транспорту в системі Укрзалізниці

На підставі теорії транспортних вимірників розглядають систему показників роботи залізниць у системі Укрзалізниці [13].

Усю сукупність показників, що використовуються для аналізу та управління роботою залізничного транспорту можна поділити на *економічні* та *експлуатаційні*.

Експлуатаційні вимірники підрозділяються на кількісні та якісні. Кількісні величини характеризують обсяг запланованої чи виконаної роботи, якісні – ефективність використання засобів транспорту та постійних пристроїв.

Система кількісних показників містить узагальнюючі вимірники транспортної маси та транспортної роботи у їх різних модифікаціях.

Показники *обсягу перевезень*, який ще називають *відправленням*, розраховуються для мережі у цілому та її підрозділів: залізниці, дирекції, сортувальні станції, вантажні станції, дільничні станції, депо, дистанції колії, сигналізації і т.д. Найбільш загальними показниками обсягу вантажних перевезень мережі є навантажені, відправлені і перевезені тонни вантажу (за добу, місяць, декаду, квартал, рік), тобто

$$P = \sum_{i=1}^n p_i, \quad (4.10)$$

де p_i – кількість вантажу по першій, другій, третій і т.д. кореспонденціях вантажопотоків, т;

n – кількість виконаних кореспонденцій за звітний період.

Річний обсяг перевезених пасажирів

$$A = \sum_{i=1}^n a_i, \quad (4.11)$$

де a_i – кількість перевезених пасажирів з i -го пункту;
 n – число пунктів.

Обсяг перевізної роботи, який у залізничній практиці ще називають *вантажобігом* – обсяг транспортної роботи в тонно-кілометрах за звітний період по перевезеннях вантажів

$$\sum_{n=1}^m P_n l_n, \quad (4.12)$$

де l_n – тарифний пробіг.

Аналогічно *пасажиробіг* – обсяг в пасажиро-кілометрах по перевезеннях пасажирів за рік

$$\sum_{n=1}^m a_n l_n. \quad (4.13)$$

Вантажонапруженість залізниць – тарифні тонно-кілометри брутто, що припадають на один кілометр колії за рік, млн ткм брутто/км,

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum P_i l_i}{L_e} \quad (4.14)$$

Відповідно *приведена вантажонапруженість*

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i + k_n \left(\sum_{j=1}^m a_j l_j \right)}{L_e}, \quad (4.15)$$

де k_n – коефіцієнт приведення (еквівалентності) одного пасажиро-кілометра до одного тонно-кілометра;
 L_e – експлуатаційна довжина мережі залізниць, км.

Вантажонапруженість є об'єктивним показником рівня завантаження мережі обсягом транспортної роботи.

Навантаження і вивантаження вагонів за добу

$$\sum_{n=1}^m U_n, \quad (4.16)$$

де U_m – число завантажених фізичних вагонів за добу по залізницях, дирекціях;

$$\sum_{n=1}^m U_n, \quad (4.17)$$

де U_n – число вивантажених вагонів за добу.

Передача вагонів по стикових пунктах мережі залізниць

$$\sum_{n=1}^n U_n^{ПД}, \quad (4.18)$$

де n – число стикових пунктів між усіма залізницями мережі;

$U_n^{ПД}$ – число вагонів, переданих за добу в сумі парного і непарного напрямків

$$U_n^{ПД} = U_n^{ПД(пар)} + U_n^{ПД(непар)}. \quad (4.19)$$

Передача вагонів по стикових пунктах характеризує в узагальненому вигляді ступінь динамічності переміщення вагонопотоку із залізниці на залізницю.

Робота парку вантажних вагонів, яку ще називають *роботою дирекції (ДН)*, ваг/доб,

$$U = \sum U_n + \sum U_{np}^{нає} \quad (4.20)$$

де $\sum U_{np}^{нає}$ – сума прийнятих навантажених вагонів за добу, ваг.

Система якісних показників. Використання рухомого складу транспорту (вагонів, локомотивів), постійних технічних засобів (сортувальні гірки, парки станцій) ґрунтується на технічно обґрунтованих нормах, характеристиках рухомого складу, колії з урахуванням забезпечення надійності і безпеки руху поїздів і маневрової роботи.

Розраховуються нижченаведені *якісні показники використання вагонів*.

Обіг вагона – це тривалість повного циклу його перевізної роботи, тобто час від моменту початку навантаження вагона до моменту наступного початку навантаження в той же вагон. Цей

цикл містить операції навантаження вагона, його забирання з вантажного фронту, маневри з формування передавального поїзда, його просування з вантажної станції на сортувальну станцію, розформування на сортувальній станції, накопичення до повного составу поїзда попутного призначення, проходження з цим поїздом, з урахуванням простою на технічних станціях при зміні локомотивів, подавань до фронту вивантаження, вивантаження. Це ще не повний перелік операцій над вагонами за час його обігу.

Тоді обіг, виходячи з рисунка 4.1, розраховується за формулою, доб,

$$\theta_{\text{заг}} = \frac{l}{24} \left[\frac{l}{V_{\text{д}}} + \frac{l}{L_{\text{с}}} t_{\text{мех}} + K_{\text{м}} t_{\text{е}} \right] \quad (4.21)$$

де l – повний рейс вагона, км;

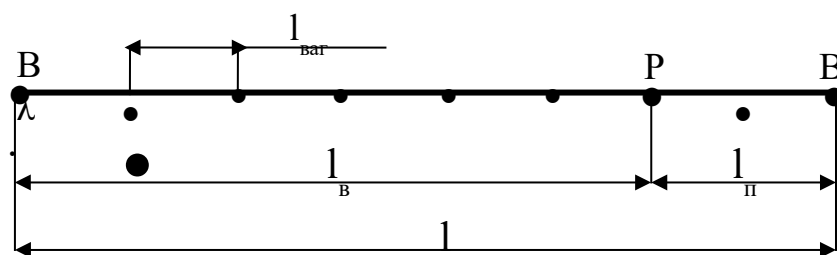
$V_{\text{д}}$ – середня дільнична швидкість, км/год;

$L_{\text{с}}$ – середнє вагонне плече, тобто відстань між технічними станціями, км;

$t_{\text{мех}}$ – середній простій транзитного вагона на одній технічній станції, год;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт місцевої роботи;

$t_{\text{е}}$ – середній простій, що припадає на одну вантажну операцію, год.



В – станція вантаження; Р – станція розвантаження; $l_{\text{в}}$, $l_{\text{п}}$ та l – відповідно вантажний, порожній та повний рейс вагона; $l_{\text{ваг}}$ – вагонне плече

Рисунок 4.1 – Схема до визначення показника обігу вагона

Коефіцієнт місцевої роботи оцінює число вантажних операцій, що припадають на одиницю роботи парку, тобто

$$k_m = \frac{\sum U_n + \sum U_e}{U}. \quad (4.22)$$

Обіг вагона ще можна визначити як, доб,

$$\theta = \frac{n_p}{U} \quad (4.23)$$

де n_p – робочий парк вагонів, за допомогою якого виконана робота U .

Обіг вагона – важливий показник ефективності його використання. Чим менший обіг, тим меншим парком вагонів можна упоратись із заданим обсягом перевезень, що є особливо актуальним у теперішній час.

Статичне навантаження – середня маса вантажу, що припадає на один навантажений вагон, наприклад на станції відправлення. Розрізняють статнавантаження окремого конкретного вагона і середнє статнавантаження вагона за аналізований період по даному підрозділу (станція, дирекція, залізниця, мережа залізниць).

Одиничне статичне навантаження конкретного вагона

$$p_i = p_{ni} \pm \Delta p_i, \quad (4.24)$$

де p_{ni} – норма завантаження i -го типу вагона по його конструктивній несучій спроможності, т;
 $+ \Delta p_i$ – припустиме перевантаження вагонів, що не загрожує безпеці руху (у теперішній час на Укрзалізниці заборонено);
 $- \Delta p_i$ – недовантаження, якщо з якихось причин цілком не використана вантажопідйомність, т.

Для аналізу ступеня використання вантажопідйомності вагонів за визначений період розраховується середнє статичне навантаження окремих типів вагонів і всіх завантажених вагонів по станції, залізниці, мережі, т/ваг,

$$\overline{p_{cm}} = \frac{\sum p_i}{\sum U_n}, \quad (4.25)$$

де $\sum P_i$ – сумарна маса завантажених вантажів по даному підрозділу за аналізований період часу, т;
 $\sum U_n$ – число завантажених вагонів за той же період.

Середнє динамічне навантаження навантажених вагонів, що визначається з урахуванням їх пробігу в середньому за добу, т/ваг,

$$\bar{P}_d = \frac{\sum pl}{\sum nl_{\text{ван}}}, \quad (4.26)$$

де $\sum nl_{\text{ван}}$ – пробіг навантажених вагонів по даному підрозділу, ваг.км.

Середньодобовий пробіг вагона, км/доб,

$$\bar{S}_B = \frac{\sum nl}{\sum n_p}, \quad (4.27)$$

де $\sum n_p$ – робочий парк вагонів.

Продуктивність вагона – корисна транспортна робота, яку виконує у середньому вагон робочого парку в одиницю часу (за добу), ткм нетто/ доб,

$$W_{\epsilon} = \frac{\sum Pl}{\sum n_p}, \quad (4.28)$$

також шляхом перетворення можна отримати

$$W_{\epsilon} = \bar{S}_B \cdot \bar{P}_d, \quad (4.29)$$

де \bar{S}_B – середньодобовий пробіг вагона, км/доб;

\bar{P}_d – динамічне навантаження з урахуванням пробігу порожнього вагона, т.

Коефіцієнт порожнього пробігу

$$\alpha = \frac{\sum n \cdot S_{\text{нор}}}{\sum n \cdot S_{\text{заг}}} \quad (4.30)$$

Для збільшення продуктивності вагона необхідно, з одного боку, скорочувати простій, збільшувати швидкість пересування вагона, з другого – поліпшувати використання його вантажопідйомності.

Одним з найважливіших якісних показників використання локомотивів є *обіг локомотива*, під яким розуміється тривалість циклу перевізної роботи локомотива від моменту виходу з основного депо під поїзд до наступного такого ж моменту, що ілюструється рисунком 4.2.

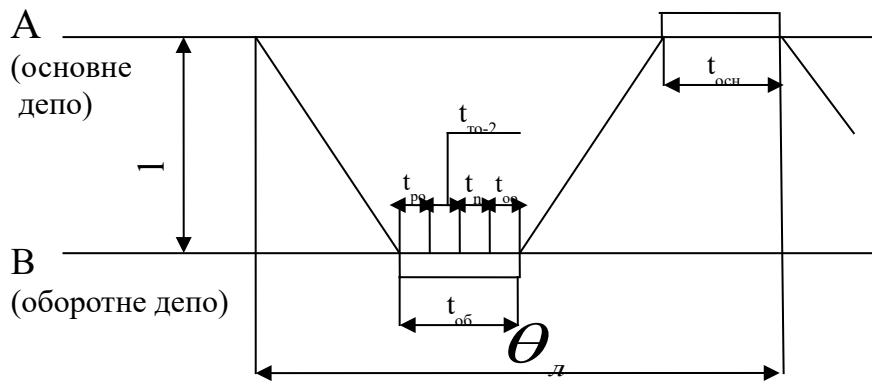


Рисунок 4.2 – Схема обігу локомотива та його складові

Тоді обіг локомотива, год,

$$\theta_{\text{л}} = \frac{2l}{v_{\partial}} + t_{\text{осн}} + t_{\text{об}} \quad (4.31)$$

де l – відстань між станціями основного та оборотного депо, тобто робоче плече обслуговування, км;

v_{∂} – середня дільнична швидкість поїздів, км/год;

$t_{\text{осн}}$ та $t_{\text{об}}$ – відповідно час простою локомотива в основному та оборотному депо, год.

Загальний час простою локомотива в оборотному депо, год,

$$t_{об} = t_{po} + t_{mo-2} + t_n + t_{oo}, \quad (4.31)$$

де t_{po} – час руху в оборотне депо;

t_{mo-2} – тривалість простою під операціями технічного обслуговування та екіпірування;

t_n – час повертання з депо на станцію;

t_{oo} – час очікування поїзда у зворотному напрямку.

Середньодобовий пробіг локомотива, км/добу,

$$\bar{S}_л = \frac{\sum ML}{\sum M_e}, \quad (4.32)$$

де $\sum ML$ – сумарний пробіг за добу, лок.км;

$\sum M_e$ – експлуатований парк локомотивів.

Як відомо, інвентарний парк локомотивів основного депо складається з резерву УЗ та парку розпорядження депо, який у свою чергу поділяється на парк експлуатованих (що знаходяться в русі та на ТО-2) та неексплуатованих (що знаходяться на ТО-3, ТО-4 та в ремонті) локомотивів.

Середня маса поїзда брутто, т,

$$\bar{Q}_{\text{бр}} = \frac{\sum P_{\text{бр}} l}{\sum Nl} = \frac{\sum P_{\text{бр}} l}{\sum ML_n}, \quad (4.33)$$

де $\sum P_{\text{бр}} l$ – вантажообіг брутто;

$\sum Nl$ – сумарний пробіг поїздів;

$\sum ML_n$ – сумарний пробіг локомотивів у голові поїзда (лінійний пробіг).

Продуктивність локомотива – це транспортна робота, яку виконує локомотив експлуатованого парку в середньому за одиницю часу, ткм брутто/доб,

$$W_n = \frac{\sum P_{\text{бр}} \cdot l}{\sum M_e}, \quad (4.34)$$

або

$$W_n = \bar{S}_л \cdot \bar{Q}_{\text{бр}}. \quad (4.35)$$

Підвищення продуктивності локомотива, як впливає з вищенаведених формул, можна досягати шляхом:

- збільшення пробігу локомотива за рахунок збільшення дільничної швидкості, зменшення непродуктивних простоїв як у депо, так і на шляху прямування;

- збільшення маси поїздів бруто за рахунок підвищення рівня використання вагонів за вантажопідйомністю, формування повносоставних та повновагових поїздів, а також підвищеної маси, використанням локомотивів більшої потужності та секційності на вантажонапружених напрямках;

- зменшення чисельності експлуатованого парку локомотивів за рахунок більш раціонального їх використання у часі, удосконалення графіка руху поїздів та рівня роботи диспетчерського апарату.

До якісних показників відносяться також усі транспортні швидкості, крім конструкційної.

5 ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

5.1 Загальні поняття

Пропускна спроможність одна з основних характеристик транспортних пристроїв, напрямків, полігонів і мережі в цілому.

Пропускна спроможність транспортних пристроїв має таке ж значення, як потужність або продуктивність для агрегатів чи машин.

Рівень пропускнуої спроможності багато в чому визначає ефективність використання змінних засобів транспорту, якісні показники транспортного обслуговування населення і підприємств.

У загальному вигляді під пропускнуою спроможністю розуміють максимальну кількість деяких заявок, що може бути обслугована за визначений період часу. Це може бути максимальна кількість транспортних засобів, наприклад

автомобілів або суден, що можуть бути пропущені через деяку ділянку транспортного шляху.

5.2 Пропускна спроможність залізничного транспорту та її різновиди

На різних видах транспорту, а в межах одного виду – для різних транспортних пристроїв використовують декілька понять (різновидів) пропускної спроможності. Для залізничної дільниці розрізняють наявну пропускну спроможність, потрібну пропускну спроможність, а також результативну. **Наявною пропускнуою спроможністю** залізничної дільниці на перегонах називається максимальне число вантажних поїздів (чи пар поїздів) установленної маси і довжини, що може бути пропущене по дільниці за одиницю часу (доба, година) відповідно до її технічної оснащеності, прийнятого способу організації руху поїздів (графіка руху поїздів).

Якщо колії спеціалізовані для пасажирського (приміського) руху, то наявна пропускна спроможність вимірюється в пасажирських (приміських) поїздах.

Потрібна пропускна спроможність залізничних ліній – це число поїздів, яке необхідно реалізувати для виконання плану перевезень.

Провізною спроможністю залізничних ліній називається найбільша величина вантажопотоку (у мільйонах тонн), що може бути освоєна протягом року.

Провізна спроможність ліній залежить від її пропускної спроможності, норм маси вантажних поїздів, структури поїздопотоків за категоріями поїздів і вантажопотоку за родами вантажів і виражає потужність ліній, яка використовується для виконання вантажних перевезень при забезпеченні пропуску заданого числа пасажирських та інших поїздів термінового обертання.

Відповідно розрізняють **наявну** і **потрібну провізні спроможності** ліній, одержувані як результат можливого використання її потужності на здійснення вантажних перевезень при відповідному задоволенні потреб пасажирського руху.

Пропускную спроможність розраховують виходячи з повного використання всіх технічних засобів. Однак вона повинна мати

резерв, установлений з техніко-економічних міркувань, і являє собою різницю між наявною (чи проектованою) пропускною спроможністю і потрібною. Припустимий коефіцієнт заповнення пропускної спроможності дільниць по перегонах приймається таким: для двоколійних ліній 0,97; для одноколійних ліній – 0,98. Пропускна спроможність залізничних дільниць визначається як у цілому для залізничних ліній та для дільниць, так і по окремих елементах і пристроях: перегонах, станціях, локомотивних депо, пристроях електропостачання, водопостачання та інших залізничних пристроях, призначених для обслуговування руху поїздів.

Провізну спроможність визначають звичайно в цілому для залізничних ліній.

Результативна пропускна спроможність дільниць визначається на основі даних про пропускну спроможність окремих пристроїв і напрямків у цілому. Результативну пропускну спроможність окремих дільниць установлюють за такими елементами:

- по перегонах (тобто з урахуванням числа головних колій, довжини перегонів, профілю колії, пристроїв автоматики і зв'язку, колійного розвитку пропускних роздільних пунктів, пристроїв електропостачання);

- по станціях (приймально-відправні колії, стрілочні горловини);

- по деповському господарству (стійла технічного огляду і поточного ремонту, пристрої 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 даної виробничої одиниці в цілому і визначає значення результативної пропускної спроможності. Пропускна спроможність установлюється для дільниць залізничних ліній з однаковим на всій довжині технічним оснащенням, потужністю вантажопотоку і розмірами пасажирського руху.

Початковими і кінцевими пунктами таких пристроїв є сортувальні станції і дільничні станції, зонні станції приміських

дільниць, а іноді проміжні станції зародження і погашення вантажопотоків відправницьких маршрутів.

Для одноколійних ліній з рівними розмірами руху по напрямках пропускна спроможність виражається числом пар поїздів установленої маси обох напрямків, а для двоколійних ліній і одноколійних при непарному графіку – числом поїздів установленої маси для кожного напрямку окремо. Число поїздів чи пар поїздів, що може пропустити залізнична лінія, визначається звичайно за добовий період. Для приміських дільниць з інтенсивним пасажирським рухом через велику нерівномірність руху пропускна спроможність визначається не тільки за добу, але і за період максимального навантаження дільниці – годину пік.

5.3 Методи розрахунку пропускної спроможності

Для розрахунку пропускної спроможності технічних пристроїв при різномірній структурі поїздопотоків застосовуються два методи:

1) детермінований – використовується на вітчизняних залізницях: спочатку встановлюється максимальна пропускна спроможність у поїздах чи парах поїздів категорії, що переважає на даній лінії. Поїзди інших категорій через визначені еквіваленти приводяться до поїздів основної категорії. Так, наприклад, пропускна спроможність дільниць по перегонах розраховується спочатку для рівномірного графіка і виражається в поїздах тільки однієї категорії, зазвичай вантажних. Потім оцінюється вплив на пропускну спроможність поїздів, що прямують з іншими швидкостями, тобто розглядається пропускна спроможність непаралельного графіка руху поїздів;

2) стохастичний (Німеччина, Японія) – пропускна спроможність визначається без виділення розрахункової категорії поїздів, а з урахуванням імовірнісної природи відносного взаєморозташування на графіку поїздів різних категорій.

На Укрзалізниці наявна пропускна спроможність, поїзд/доб, визначається діленням добового бюджету часу, відведеного для руху поїздів, на період графіка руху поїздів з урахуванням надійності роботи технічних засобів та тривалості «технологічного вікна»

$$n = \frac{(1440 - t_{mex}) \cdot \alpha}{T_{ГРП}}, \quad (5.1)$$

де 1440 – повний добовий фонд часу, хв;

t_{mex} – тривалість технологічного вікна, що залежить від вантажонапруженості, хв;

α – коефіцієнт надійності роботи технічних пристроїв;

$T_{ГРП}$ – період графіка руху поїздів, хв.

Під «технологічним вікном» розуміється вільний від пропуску поїздів проміжок часу в графіку руху поїздів, який щодоби виділяється для виконання робіт з технічного обслуговування і технічного ремонту колії, контактної мережі, пристроїв СЦБ. Тривалість «технологічного вікна» залежить від вантажонапруженості лінії, типу машин і механізмів, що використовуються при виконанні робіт, рівня технічного оснащення дистанції колії й інших господарств. В інструкції [15] встановлена тривалість «технологічних вікон» у залежності від цих умов.

Період графіка руху поїздів для одноколійних дільниць – це час, протягом якого перегін зайнятий групою поїздів, характерною для прийнятого типу графіка руху поїздів.

Періодом графіка руху поїздів для двоколійних дільниць, обладнаних автоблокуванням, є розрахунковий інтервал між поїздами в пакеті. Для двоколійних дільниць, не обладнаних автоблокуванням, період графіка дорівнює сумі часу руху по перегону і станційного інтервалу попутного прямування. Для двоколійних дільниць період графіка визначається окремо для кожної колії (напрямку руху).

Пропускна спроможність залізничних станцій визначається найбільш імовірною кількістю вантажних поїздів (окремо з переробкою і без переробки) і заданою кількістю пасажирських поїздів, що можуть бути пропущені через станцію за добу на всіх напрямках, що до неї примикають, в умовах повного використання існуючих технічних засобів. При розрахунку пропускної спроможності використовуються прогресивні

технологічні норми на виконання всіх операцій, що враховують технічне оснащення і специфіку роботи станції.

Пропускна спроможність пасажирської станції визначається найбільш імовірною кількістю пасажирських поїздів, що можуть бути пропущені через неї за добу або годину по кожному прилеглому напрямку.

По об'єктах локомотивного господарства програма визначається:

а) для технічного огляду ТО-2

$$N_{ТО2} = 24n_{експл} / \bar{T}, \quad (5.2)$$

де \bar{T} – час між ТО-2;

б) для технічного огляду ТО-3

$$N_{ТО3} = \gamma \left(\frac{\sum L_{дооб}}{L_{ТО3}} - \frac{\sum L_{дооб}}{L_{ПР1}} \right), \quad (5.3)$$

де $\sum L_{дооб}$ – сумарний добовий пробіг, км;

$L_{ТО3}$ – міжремонтний пробіг за ТО-3, км;

γ – коефіцієнт нерівномірності, $\gamma = 1,43$;

$L_{ПР1}$ – міжремонтний пробіг за ПР-1, км;

в) для поточного ремонту ПР-1

$$N_{ПР1} = \gamma \left(\frac{\sum L_{дооб}}{L_{ПР1}} - \frac{\sum L_{дооб}}{L_{ПР1}} \right). \quad (5.4)$$

5.4 Пропускна спроможність на інших видах транспорту

На внутрішніх водних шляхах під пропускнуою спроможністю розуміється можливість річок, каналів пропустити за добу, місяць, навігацію певне число суден, плотів в одному чи у двох напрямках. Аналогічно визначається пропускна спроможність порту. Провізна спроможність діляниць річкового шляху виражається максимальною кількістю вантажу в тоннах, що може бути пропущена по водних магістралях за одиницю часу

(доба) при визначених технічних характеристиках як самого шляху і флоту, так і прийнятої організації руху.

На морському транспорті під пропускною спроможністю якогось пристрою або спорудження розуміють максимальну кількість одиниць потоку, що може бути пропущена ними за визначений період часу в даних конкретних технічних експлуатаційних умовах.

На трубопровідному транспорті замість пропускної спроможності використовується поняття *виробнича потужність*. Під виробничою потужністю підприємств, що транспортують нафту, нафтопродукти, газ розуміється максимальна кількість зазначених продуктів, що може бути передана за рік чи за добу по трубопроводах при максимальному використанні розрахункових параметрів і сталому режимі роботи.

Для аналізу пропускної спроможності в нестационарних умовах функціонування транспорту використовується теорія масового обслуговування, а для транспортної мережі - теорія графів і теорія потоків у мережах.

6 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

6.1 Визначення транспортних потоків, їх види та постановка двох основних задач

Розрізняють виконані та перспективні транспортні потоки. *Виконані* транспортні потоки за минулий відрізок часу ще називаються статистичними або звітними. В оперативних планах транспортні потоки розглядаються і прогнозуються на майбутнє – це *перспективні* (прогнозовані) транспортні потоки.

З метою прогнозування транспортних потоків використовують різні моделі, а саме моделі довгострокового та короткострокового прогнозування. Ці моделі засновано на використанні статистичних даних за попередні періоди. Моделі довгострокового прогнозування використовують для управління розвитком транспортної системи. Їх реалізація здійснюється за допомогою методу найменших квадратів.

Короткострокове прогнозування використовується для удосконалення методів оперативного управління або регулювання. Основою цих підходів є моделі, яким притаманна властивість до самонавчання, а саме моделі на основі експоненційного згладжування або на основі використання генетичних алгоритмів.

Транспортні потоки визначають навантаження на транспортні системи. Від параметрів транспортних потоків залежать потрібні потужності транспортних систем (станцій, депо, дільниць, полігонів), потреба в рухомому складі, паливі й інших ресурсах. Вони є вихідними даними при розробленні технології і розрахунку потужності всіх типів станцій, розрахунку плану формування і графіка руху поїздів.

Максимальний потік в одиницю часу, що може бути пропущений по елементах мережі, складає пропускну спроможність як елементів, так і всієї мережі.

У загальній теорії транспортних потоків вирішуються два основних завдання:

1) визначення оптимального транспортного потоку на існуючій транспортній мережі та її елементах. Якщо транспортний потік більше оптимального, то мережа буде працювати в умовах перевантажень із затримками, відмовленнями й економічними збитками;

2) установлення оптимальної потужності транспортної системи для пропуску заданих чи прогнозованих потоків.

6.2 Однотермінальні та багатотермінальні транспортні потоки

Потоки можуть бути з одним джерелом і одним стоком. Однак у більшості випадків при розгляді плану формування, графіка руху поїздів доводиться мати справу з мультитермінальними потоками, тобто n – пунктів відправлення (джерел) і m – пунктів призначення (стоків), $n > 1$, $m > 1$. Багатотермінальні потоки утворюються змішуванням однотермінальних потоків на принципі адитивності (додавання), при цьому не можна змішувати пасажирські і вантажні поїзди без попереднього їхнього приведення до загального показника

впливу на використання пропускної спроможності, тобто *принцип адитивності*

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_1 + N_2 + \dots + N_n, \quad (6.1)$$

де n – число однотермінальних транспортних потоків.

Для аналізу транспортної системи багатотермінальні потоки приводять до однотермінальних, зв'язуючи n - джерел і m - стоків в одне суперджерело і суперстік, тобто припустимо, що сумарний потік бере свій початок в укрупненому пункті відправлення і закінчується в укрупненому пункті призначення. При аналізі потоків складної структури в залізничних мережах можна одні потоки розглядати при незмінних параметрах, а інші змінювати, наприклад, досліджувати параметри потоків вантажних поїздів при відомому числі пасажирських чи параметри потоків поїздів зі швидкопсувними вантажами (рефрижераторних поїздів) при незмінних умовах пропуску інших категорій поїздів і т.д.

Транспортний потік становить композицію багатьох окремих потоків і має свої особливості, пов'язані з великою масою і швидкістю транспортних одиниць, способами його регулювання, пропуску, виникнення і погашення на станціях і у вузлах.

6.3 Основні характеристики (параметри) транспортних потоків та закони їх розподілу

Транспортні потоки (ТП) характеризуються законами розподілу і параметрами. Параметри ТП поділяються на часові та просторові. Важливим **часовим** параметром є *інтенсивність транспортного потоку*. Цей термін, маючи таку ж природу, як і потужність потоку (М/Т), є більш уживаним, коли розглядають потік явищ, наприклад інтенсивність потоку відмов у галузі надійності техніки, інтенсивність потоку транспортних засобів на шляху прямування та ін.

Таким чином, для залізничного транспорту середня годинна інтенсивність виражається числом поїздів N_n , пропущених за певний період часу T

$$\lambda = \frac{N_n}{T} \quad (6.2)$$

Інтенсивність може бути реалізованою і прогнозованою.

Інтенсивність транспортного потоку в загальному випадку є функцією часу $\lambda=f(t)$ і як величина випадкова підкоряється певним законам розподілу. Наприклад, для залізничного транспорту в інтервалі часу $t \in (0,75 - 1,5)$ год встановлена підпорядкованість нормальному закону розподілу

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\lambda t)^2}{2\sigma^2}}, \quad (6.3)$$

де x – випадкове значення інтенсивності;

λ – середня годинна інтенсивність;

σ – середньоквадратичне відхилення за час T .

У меншому періоді при $t < 0,75$ год виявляється закон Пуассона

$$P(X=x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t}. \quad (6.4)$$

Для будь-яких інтервалів часу найбільш об'єктивним є біноміальний закон розподілу. Наприклад, імовірність прибуття поїздів x за час T

$$P(X=x) = \binom{W_T}{X} p^x \cdot q^{W_T-x}, \quad (6.5)$$

де W_T – максимально можливе підведення поїздів, тобто число ниток ГРП за T ;

p – імовірність того, що по кожній нитці пройде поїзд;

q – зворотна подія, $q = 1-p$;

X – розрахункове число пар поїздів;

$\binom{X}{W_T}$ – число сполучень із W_T елементів по X .

Складові виразу (6.5) визначаються за формулами:

$$p = \frac{\lambda t}{W_T}, \quad (6.6)$$

де λt – реалізована кількість поїздів;

$$\left(\frac{X}{W_T}\right) = \frac{W_T!}{X!(W_T - X)!}. \quad (6.7)$$

Таким чином, часовими характеристиками транспортних потоків доцільно вважати:

- закон розподілу (наприклад кількості поїздів N);
- λ – інтенсивність;
- λt – математичне сподівання або його оцінка;
- σ – середнє квадратичне відхилення;
- D – дисперсія;
- ν – коефіцієнт варіації ($\sigma/\lambda t$);
- k_n – коефіцієнт нерівномірності ($k_n = N_{max}/\lambda t$).

Основною **просторовою** характеристикою потоку є його *лінійна густина*, тобто число транспортних одиниць (наприклад поїздів), що припадає на одиницю довжини лінії. Якщо на залізничній ділянці на кожен момент t_i буде знаходитися $N(t_i)$ поїздів, то густина потоку в момент t_i

$$r(t_i) = \frac{N(t_i)}{l}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (6.8)$$

де l – довжина ділянки, км.

Середня лінійна густина потоку

$$\bar{r}(t_i) = \frac{\sum_{i=1}^n r(t_i)}{n} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} N(t) dt}{t_2 - t_1}, \quad (6.9)$$

де n – кількість часових інтервалів спостереження.

Збільшення густини потоку істотно впливає на зростання пропускної спроможності транспортної лінії, наприклад на залізничному транспорті це наочно демонструється

впровадженням автоблокування (АБ) в систему керування рухом поїздів.

6.4 Зв'язок між густиною та інтенсивністю транспортного потоку. Трансформація транспортних потоків

Інтенсивність λ і густина τ тісно пов'язані між собою: спочатку зі збільшенням τ режими руху поїздів не порушуються, інтенсивність λ зростає, реалізація пропускної спроможності також підвищується.

При подальшому зростанні густини досягається максимум інтенсивності, і якщо густина $\tau(t)$ продовжує рости, виникають несприятливі режими, знижується інтенсивність λ і реалізована пропускна спроможність. При дуже високій густині потоку $\tau(t)$ потік періодично зупиняється на деякому відрізку t , пропускна спроможність на цих відрізках $t=0$, і чим більше таких відрізків, тим ширше реалізація пропускної спроможності за добу, тобто існує таке значення τ_{opt} , при якому реалізується максимальна інтенсивність і максимальний потік $N(t)$ (рисунок 6.1).

Збільшення маси поїзда скорочує інтенсивність λ і густину τ . Це створює кращі умови для зменшення можливого впливу поїздів на шляху проходження, поліпшує керування транспортним потоком.

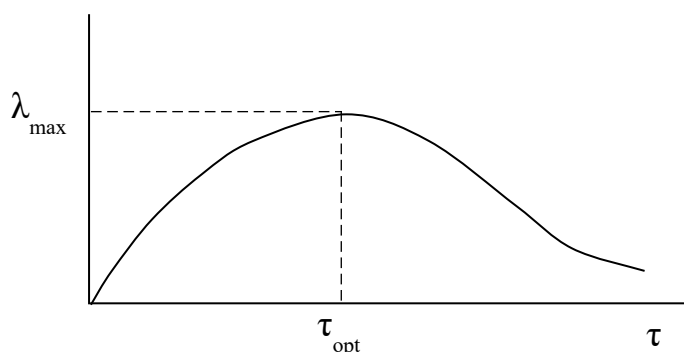


Рисунок 6.1 – Залежність, що характеризує зв'язок між просторовою та часовою характеристиками транспортного потоку

Трансформацією потоку називається зміна як часових, так і просторових параметрів потоку під впливом таких операцій, як приймання поїздів на станцію, їхня обробка, розформування,

формування, підготовка до відправлення, відправлення і т.д. Трансформація потоку призводить до істотних змін його параметрів. У цьому сенсі залізнична сортувальна станція є характерним прикладом такого «трансформатора» на шляху поїздопотуку.

7 КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Математичні методи, які використовуються в дисципліні, тобто при розв'язанні задач експлуатації залізниць, можна класифікувати за нижченаведеними основними напрямками.

1 Задачі, які виражені аналітичною формулою, за якою визначається ряд часткових значень функції; функція може бути *лінійною* (наприклад, величина потрібного вагонного парку в залежності від роботи залізниці при заданому обігу вагона) чи *нелінійною* (наприклад, значення основного питомого опору вантажних чотири- і восьмиосьових вагонів як функція швидкості), метод мінімальних квадратів, регресійний аналіз.

2 Задачі, у яких математична залежність між змінними задається диференціальним рівнянням чи системою диференціальних рівнянь. Після їх розв'язання точним чи наближеним методом (наприклад Рунге – Кутта) знаходиться шукана форма у вигляді таблиці її значень. Це, як правило, рівняння руху (поїзда, вагонів при скочуванні з гірки і т. д.).

3 Екстремум – задачі, при яких застосовуються методи лінійного і нелінійного програмування.

4 Різноманітні комбінаторні задачі і логічні задачі, що не мають загальних методів розв'язання. Вони розв'язуються безпосереднім розрахунком усіх можливих варіантів або за спеціальними методиками, розробленими для конкретних задач (метод перебору), тобто для процедури послідовного наближення до шуканого результату. Наприклад: складання графіка руху і плану формування поїздів.

5 Імовірнісні задачі, розв'язувані із застосуванням загальних методів теорії ймовірностей, математичної статистики (визначення ймовірності подій, функції розподілу, кореляційні

залежності), теорія масового обслуговування, метод Монте – Карло (моделювання випадкових процесів). Ці методи використовуються при дослідженні характеру відхилення вагопотоків від середніх значень, розрахунку пропускної спроможності складних станційних горловин.

6 Теорія графів і потоків у мережах.

7 Методи імітаційного моделювання. При розв'язанні задач методом імітаційного моделювання досліджуваного процесу за допомогою ЕОМ розв'язання аналітичної задачі замінюється відтворенням великого числа варіантів реалізації випадкового процесу, спеціально побудованого за умовами задачі (RND). Застосовується при розв'язанні складних задач.

8 ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

8.1 Початкові відомості

З метою дослідження топології та перетворення структури транспортної мережі доцільно використовувати апарат теорії графів, як засіб її формалізації.

За допомогою теорії графів, як розділу математики, вивчаються та досліджуються закономірності графічних об'єктів (звідки впливає й назва). Теорія графів як наука сформувалась в середині 30-х років ХХ століття.

Геометрично граф – це сукупність точок та з'єднуючих їх ліній.

Математично граф $G(I,U)$ існує, якщо задано непусті множини $I \neq \emptyset, U \neq \emptyset$, при цьому кожному елементу множини U поставлена у відповідність впорядкована пара елементів (i, j) з множини I . Елементи множини I називаються **вершинами** графа, а елементи множини U – **ребрами** графа. Як приклад маємо граф (рисунок 8.1).

$$I \in \{1, 2, 3, 4\};$$

$$U \in \{(1, 2), (2, 3), (2, 4), (3, 4), (4, 1)\}.$$

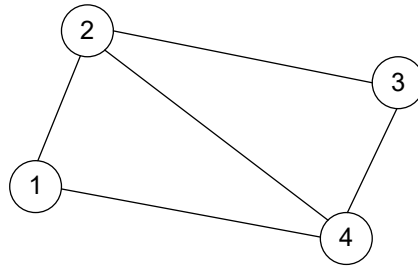


Рисунок 8.1 – Приклад математичного графа $G(I,U)$

Найбільше розповсюдження при формалізації топології об'єктів теорія графів набула в таких галузях науки, як електротехніка (електричні схеми), хімія (структура зв'язків між атомами та молекулами органічних сполук), транспортні системи (схеми залізничних станцій, транспортних вузлів тощо). Це також можуть бути зв'язки та відношення між людьми, подіями та станами якихось об'єктів.

Теорія графів пов'язана з таким математичним апаратом, як теорія множин, теорія ймовірностей, теорія матриць, математична логіка.

Перше застосування теорії графів пов'язане із розв'язанням відомим математиком Леонардом Ейлером у 1736 році задачі про кенігсберзькі мости (рисунок 8.2, а), яка формулювалась таким чином: чи можна, вийшовши з будь-якої частини міста та пройшовши всіма сімома мостами, повернутись на початкове місце, ідучи тільки один раз по кожному мосту. Цю задачу можна розглядати як приклад оптимізації маршруту для екскурсійного бюро.

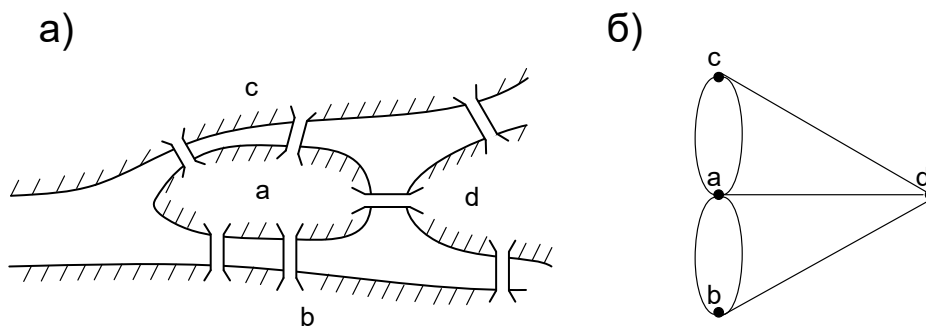


Рисунок 8.2 – План міста Кенігсберг (а) та відповідний йому граф (б)

Представивши план міста у вигляді графа (рисунок 8.2, б), Л. Ейлер довів, що поставлена задача не має розв'язку. Він може існувати у тому випадку, коли кожна вершина зв'язана з парним числом ребер.

8.2 Типи графів

Орієнтовані графи. Часто зв'язки між деякими об'єктами (вершинами) характеризуються певним чином визначеною орієнтацією, наприклад, вулиці з одностороннім рухом, підпорядкованість між рівнями управління та ін. У такому випадку використовується ребро зі стрілкою, яке називається *дугою* (рисунок 8.3, а), а такий граф називається *орієнтованим графом (орграфом)*

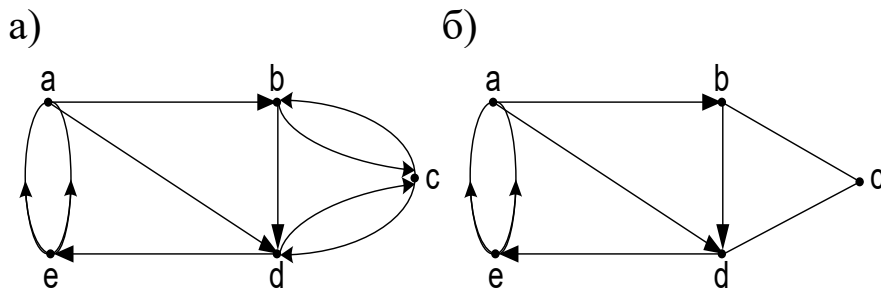


Рисунок 8.3 – Орієнтований граф (а) та змішаний граф (б)

Якщо між сусідніми вершинами є дві дуги або більше, то вони називаються *паралельними (кратними)*. Коли дві дуги при вершині мають однаковий напрямок, то їх називають *суворо паралельними*, а якщо протилежний напрямок – *несуворо паралельними*.

Несуворо паралельні дуги рівноцінні неорієнтованому ребру. Виконавши таку заміну, з орграфу отримаємо *змішаний граф* (рисунок 8.3, б). І навпаки, будь-який неорієнтований або змішаний граф можна перетворити в орграф заміною ребер несуворо паралельною парою дуг.

Таким чином, неорієнтований граф можна вважати частковим випадком орграфу. Неорієнтовані графи ще називаються *співвіднесеними*.

Зважені графи. Якщо кожному ребру або дузі приписати деяку кількісну або якісну характеристику його значимості (вагу) у порівнянні з іншими, то утвориться *зважений граф*. Вага ребра або дуги може означати, наприклад, довжину або пропускну

спроможність шляхів сполучень, характер відносин між людьми, порядковий номер ребра та ін.

Вагу можна приписати також і вершинам, наприклад, для транспортної системи це може бути потужність джерела, пропускна спроможність станції, чисельність мешканців населеного пункту, кількість колій у залізничному парку.

Кінцеві графи та їх різновиди. Якщо множина вершин графа кінцева, то такий граф називається *кінцевим*.

Кінцевий граф $G = (V, E)$, що містить p вершин та q ребер, називається (p, q) -графом.

Розглянемо кінцевий (5, 6)-граф, що визначається множиною вершин $V = \{v_1, v_2, \dots, v_5\}$ та множиною ребер $E = \{e_1, e_2, \dots, e_6\}$ (рисунок 8.4, а)

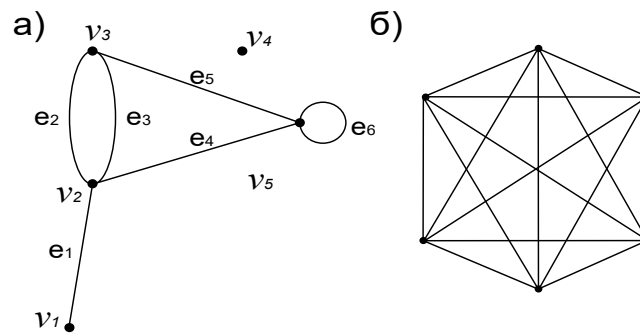


Рисунок 8.4 – Деякі типи кінцевих графів:
а – псевдограф; б – повний 6-кутний граф

У цьому графі ребра e_2 та e_3 є кратними. Ребро, граничними вершинами якого є одна й та ж вершина, називається *петлею* (e_6). У загальному випадку граф може містити й ізольовані вершини, що не зв'язані з іншими вершинами, наприклад v_4 .

Визначення. Степенем вершини графа ($\delta(v_i)$) називається кількість ребер, зв'язаних з даною вершиною (петля враховується двічі). Для графа (рисунок 8.4, а): $\delta(v_1) = 1$, вершина v_1 називається *кінцевою* або *висячою*; $\delta(v_2) = 4$; $\delta(v_4) = 0$.

Для орграфа розрізняють *позитивний степінь* $\delta^+(v_i)$ – число дуг, що виходять з вершин, та *негативний степінь* – число дуг, що входять у вершину. Для графа (рисунок 8.3): $\delta^+(a) = 2$; $\delta^-(a) = 2$.

Теорема 1. Сума степенів усіх вершин будь-якого графа дорівнює подвійному числу ребер, а число вершин непарного степеня завжди є парним.

Теорема 2. В орграфі суми всіх позитивних і негативних степенів вершин є рівними між собою та дорівнюють числу всіх дуг.

Основні різновиди кінцевих графів:

1) граф без петель та кратних ребер називається *простим (звичайним)*, наприклад, рисунок 8.1;

2) граф без петель, але з кратними ребрами називається *мультиграфом* (рисунок 8.2);

3) найбільш узагальнений вид графа з петлями та кратними ребрами називається *псевдографом* (рисунок 8.4, а);

4) граф, усі вершини якого з'єднані ребрами між собою, називається *повним* (рисунок 8.4, б);

5) граф, у якого є вершини, але немає ребер, тобто всі вершини ізольовані, називається *пустим або нуль-графом*.

8.3 Суміжність у графах

Дві вершини v_i та v_j називаються суміжними, якщо вони є граничними вершинами ребра e_k . Відношення суміжності на множині вершин графа дозволяє подати кожне ребро як пару суміжних вершин: для неорієнтованих графів – неупорядковану, тобто $e_k = (v_i, v_j) = (v_j, v_i)$; для орграфів – упорядковану (v_i, v_j) , де v_i та v_j – відповідно початкова та кінцева вершини дуги e_k .

Якщо граф заданий множиною вершин V та відношенням суміжності між ними, то граф може бути повністю поданим матрицею суміжності.

Матриця суміжності – це квадратна матриця розміром $p \times p$, де p – число вершин графа. Кожний (i, j) елемент матриці дорівнює числу кратних ребер, з'єднуючих вершини v_i та v_j , а для орграфа – числу суворо паралельних дуг, направлених від вершини v_i до вершини v_j .

Для графів (рисунки 8.3 та 8.4, а) отримано матриці суміжності, що подані відповідно на рисунку 8.5.

$$V_1 = \begin{array}{ccccc|c} & a & b & c & d & e & \\ \hline & & 1 & & 1 & & a \\ & & & 1 & 1 & & b \\ & & 1 & & 1 & & c \\ & & & 1 & & 1 & d \\ 2 & & & & & & e \end{array} \quad V_2 = \begin{array}{ccccc|c} & v_1 & v_2 & v_3 & v_4 & v_5 & \\ \hline & & 1 & & & & v_1 \\ 1 & & & 2 & & 1 & v_2 \\ & 2 & & & & 1 & v_3 \\ & & & & & & v_4 \\ & & 1 & 1 & & 1 & v_5 \end{array}$$

Рисунок 8.5 – Матриці суміжності графів

Для орієнтованого графа рядок відповідає початковій вершині дуги.

Для неорієнтованого графа матриця суміжності завжди симетрична відносно головної діагоналі, а для орграфа в загальному випадку – несиметрична. При цьому кожному ребру відповідає пара ненульових елементів, симетричних відносно головної діагоналі, дузі – ненульовий елемент матриці, петлі – ненульовий елемент головної діагоналі, ізольованій вершині – порожній рядок та порожній стовпець. Для зваженого графа без кратних ребер (i, j) -й елемент матриці суміжності дорівнює вазі дуги або ребра.

Матриця суміжності повністю (однозначно) визначає граф без петель та кратних ребер. Матриця суміжності зваженого графа, в якому вага ребер дорівнює інтенсивності поїздопотоків, являє собою відому «шахматку», що використовується при плануванні експлуатаційної роботи залізничного підрозділу.

8.4 Інцидентність

Інцидентність являє собою відношення між різнорідними елементами графа – вершинами і ребрами: якщо вершина v_i є кінцем ребра e_k , то вона інцидентна ребру e_k , а ребро e_k інцидентне вершині v_i .

В орграфах розрізняють *позитивну інцидентність* (дуга виходить з вершини) та *негативну інцидентність* (дуга заходить у вершину).

Відношення інцидентності дозволяє подати (p, q) -граф у вигляді **матриці інцидентності** розміру $p \times q$, у якій рядки відповідають вершинам, а стовпці – ребрам (дугам) графа.

Кожен (i, j) елемент матриці визначається таким чином:

а) для неорієнтованого графа дорівнює:

- 1) 1, якщо вершина v_i інцидентна ребру e_j ;
 - 2) 0, якщо v_i та e_j не інцидентні;
- б) для орграфа дорівнює:
- 1) 1, якщо v_i – початкова вершина, тобто позитивна інцидентність;
 - 2) -1, якщо v_i – кінцева вершина, тобто негативна інцидентність;
 - 3) 0 – як у пункті «а».

Матриці інцидентності псевдографа A1 (рисунок 8.4, а) та орграфа A2 (рисунок 8.3) наведені відповідно на рисунку 8.6.

	e1	e2	e3	e4	e5	e6	
1							v_1
1	1	1	1				v_2
	1	1		1			v_3
							v_4
			1	1			v_5

	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10	
-1	-1	1	1								a
		-1		1	-1					1	b
				-1	1	-1	1				c
			-1			1	-1	1	-1		d
1	1								-1		e

Рисунок 8.6 – Матриці інцидентності графів

Властивості матриць інцидентності. Кожен стовпець матриці інцидентності містить обов’язково два одиничних елементи, а для орграфа ці елементи мають різні знаки і відповідно дорівнюють 1 та -1.

Для неорієнтованого графа кількість одиниць у рядку дорівнює степеню вершини.

Для орграфа сума позитивних елементів дорівнює позитивному степеню вершин, сума негативних – негативному степеню.

Нульовий рядок відповідає ізольованій вершині.

Нульовий стовпець відповідає петлі, при цьому матриця не надає інформації про те, з якою вершиною пов’язана петля.

8.5 Інші властивості та різновиди графів

Ізоморфізм. Розглянемо три графи, що зображені на рисунку 8.7.

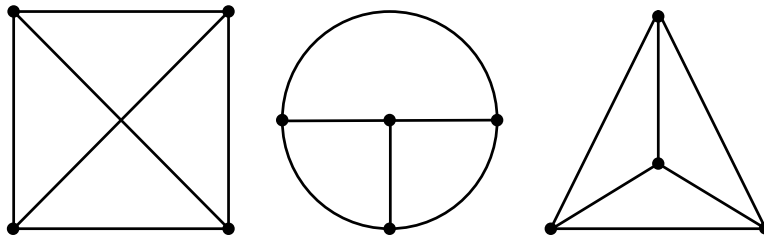


Рисунок 8.7 – Ізоморфні графи.

Ці графи мають різний геометричний вигляд, але при відповідному позначенні вершин та ребер дають однакові матриці інцидентності. Такі графи називаються *ізоморфними*.

Звідси можна також зробити висновок, що матриця інцидентності визначає граф без петель з точністю до ізоморфізму.

Прикладне застосування ізоморфізм графів знаходить у системах автоматизованого проектування (САПР), наприклад, при проектуванні горловин залізничних станцій.

Маршрути на графах. Часто розв’язання задач на графах потребує виявлення деякого маршруту з певними властивостями.

Визначення. Маршрут довжиною N – це послідовність m ребер графа, не обов’язково різних, але таких, що граничні вершини двох сусідніх ребер збігаються. Маршрут проходить через усі вершини, які інцидентні ребрам, що до нього належать.

Наприклад, для псевдографа (рисунок 8.4, а) маршрутом є послідовність $(e_1, e_3, e_2, e_3, e_5)$. *Замкнений маршрут* закінчується у тій же вершині, з якої почався.

Маршрут, у якого всі ребра різні, називається *ланцюгом*, а - в якого всі вершини різні – *простим ланцюгом*.

Замкнений ланцюг називається *циклом*. Для псевдографа (рисунок 8.4, а) – це послідовність ребер (e_2, e_3, e_4, e_5) , а замкнений простий ланцюг утворює *простий цикл*, для псевдографа (рисунок 8.4, а) – це послідовність (e_2, e_4, e_5) .

Цикл, що містить усі ребра графа, називається *ейлеровим циклом*. Таким чином, задача про кенігсберзькі мости зводиться до знаходження такого циклу. Простий цикл, що проходить через усі вершини графа, називають *гамільтоновим циклом*.

Для орграфів визначення маршруту аналогічне, але рух передбачається тільки у напрямку стрілок.

Зв'язність. Дві вершини графа називаються зв'язними, якщо існує маршрут, який поєднує ці вершини. Граф, будь-яка пара вершин якого зв'язана, називається *зв'язним*. Зв'язність орграфів визначається аналогічно, тобто без урахування напрямку дуг. Специфічним для орграфа або змішаного графа є поняття сильного зв'язку. Орграф називається *сильно зв'язаним*, якщо для будь-якої пари вершин v_i та v_j існує шлях як з v_i до v_j , так і з v_j до v_i . Таким чином, граф, зображений на рисунку 8.3, а, є сильно зв'язаним.

Очевидно, граф, що подає план міста з одностороннім рухом по деяких вулицях, повинен бути сильно зв'язаним, інакше знайшлись би вершини (площі, перехрестя), між якими неможливо було б проїхати по місту без порушення правил дорожнього руху.

Роздільність. Зв'язний граф може бути розділений на незв'язні підграфи шляхом вилучення з нього деяких вершин та ребер. При вилученні вершин виключаються всі інцидентні їм ребра, а при вилученні ребер вершини зберігаються. Якщо існує така вершина, вилучення якої перетворює зв'язний граф у незв'язний, то вона називається *точкою зчленування*, а ребро з такими властивостями називається *містком* (рисунок 8.8).

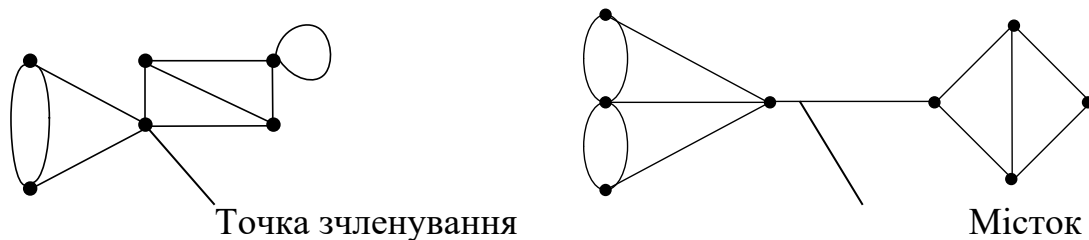


Рисунок 8.8 – Графи з ознаками роздільності

Аналіз транспортної мережі на наявність точок зчленування або містків проводиться з метою виявлення об'єктів, що потребують підвищеної охорони, бо їх руйнування призводить до розділення транспортної мережі, яка має стратегічне значення.

Дерева та ліс у графах. Графом типу «дерево» називається зв'язний ациклічний граф, наприклад, зображений на рисунку 8.9.

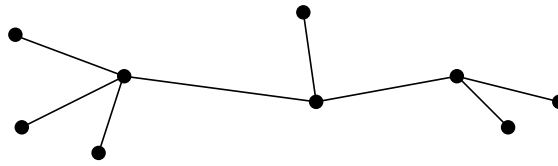


Рисунок 8.9 – Граф – дерево

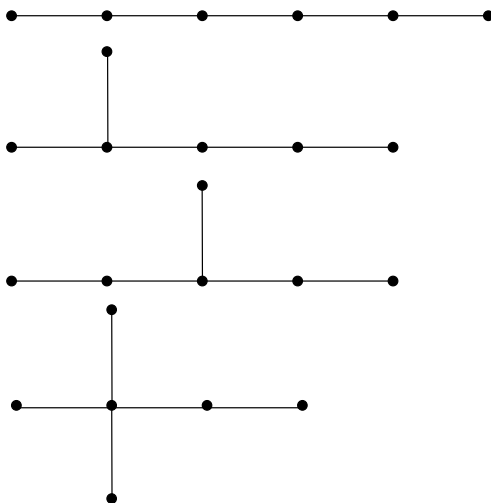
У дереві на множині p вершин завжди число ребер $q = p - 1$, тобто мінімальна кількість, необхідна для того, щоб усі вершини графа були зв'язаними.

При додаванні у дерево хоча б одного ребра утворюється цикл, а при видаленні – дерево розпадається на компоненти.

Ліс – це незв'язний граф, компонентами якого є дерева. Очевидно, що в лісі число ребер $q = p - k$, де k – число дерев.

На певній кількості вершин може бути побудовано декілька істотно різних дерев, тобто таких, що не є ізоморфними. Наприклад, на рисунку 8.10 наведені всі можливі істотно різні дерева на шістьох вершинах.

Послідовне дерево



Зіркове дерево

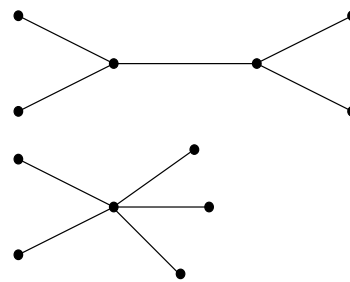


Рисунок 8.10 – Істотно різні (неізоморфні) дерева на шістьох вершинах

Загальна ж кількість можливих дерев t_p , яка може бути побудована на множині вершин P , визначається за формулою

$$t_p = p^{p-2}. \quad (8.1)$$

Орієнтоване дерево з коренем v_0 , для якого існує шлях з v_0 в будь-яку іншу вершину, називається *прадеревом* (рисунок 8.11). Такий граф відповідає структурі ієрархічної системи управління.

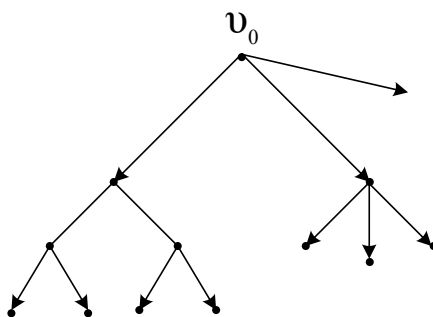


Рисунок 8.11 – Прадерево з коренем v_0

8.6 Прикладні задачі теорії графів для транспортних систем

Найбільш розповсюдженими прикладами використання теорії графів у сфері створення та експлуатації транспортних систем є:

- формування раціональної структури транспортного обслуговування держави, регіону або міста (докладно розглядається в [1, 16]);

- граф станів вагона та локомотива робочого парку, наприклад [19];

- визначення тарифної відстані у роботі підрозділів служби маркетингу та комерційної роботи;

- граф станційних маршрутів;

- критичний шлях при використанні сітьових графіків тощо.

9 ПОТОКИ В МЕРЕЖАХ

9.1 Загальні поняття

Граф, елементам якого поставлені у відповідність деякі параметри, називають *зваженим графом*, або *мережею*. Параметри можуть бути задані на таких елементах, як вершини, дуги, підмножини вершин і дуг.

Розрізняють транспортні, інформаційні, електричні, гідравлічні мережі. Для характеристики мереж застосовуються деякі поняття – функції на вершинах і дугах. Кожна вершина i характеризується *інтенсивністю* $d(i)$. Вершини, для яких $d(i) > 0$, називаються *джерелами*, а на яких $d(i) < 0$ – *стоками*, інші вершини *нейтральні*, тобто на транспортній мережі джерела – станції навантаження (відправники), стоки – станції вивантаження (одержувачі). Для характеристики дуг введемо функцію пропускної спроможності, що ставить у відповідність кожній дузі $(i, j) \in U$ графа $G(I, U)$ додатне ціле число $\tau(i, j)$, що називається *пропускною спроможністю дуги*. Для транспортних мереж це максимальна кількість вантажу, яку відповідна комунікація може пропустити за одиницю часу, тобто в мережі $G(I, U)$ з одним джерелом S і одним стоком t задана функція пропускної спроможності $\tau(i, j)$, то в ній може бути задана також функція, що називається потоком.

9.2 Задача про максимальний транспортний потік

Потоком у мережі називається функція, що складає з кожною дугою (i, j) ціле число $x(i, j)$ і має властивості:

$$0 \leq x(i, j) \leq r(i, j), (i, j) \in U, \quad (9.1)$$

$$\sum_i x(i, k) - \sum_j x(k, j) = 0, \quad k \neq s, t, k, s \in I, \quad (9.2)$$

$$\sum_k x(s, k) = \sum_k x(k, t) = g. \quad (9.3)$$

Для мережі потік $x(i, j)$ по дузі (i, j) – це кількість тонн вантажу, що проходить через цю дугу в одиницю часу. Потоком у мережі називається сукупність $\{x(i, j)\}$ потоків по всіх дугах мережі. Умова (9.1) означає, що потік по кожній дузі є додатним і не перевищує пропускної спроможності дуги $\tau(i, j)$. Умова (9.2) – це умова неперервності потоку, тобто кількість вантажу, що

притікає в будь-яку нейтральну вершину мережі, дорівнює кількості вантажу, що витікає з неї. Умова (9.3) означає, що загальна кількість вантажу, що витікає зі стоку S , дорівнює загальній кількості вантажу, що притікає в стік t .

Лінійна її форма – величина потоку в мережі.

Розріз Розглянемо мережу $G(I, U)$ з одним джерелом S і одним стоком t .

Якщо розбити множину усіх вершин мережі $G(I, U)$ на дві непересічних підмножини R і \bar{R} , то *розрізом мережі*, що відокремлює S від t , називається сукупність усіх дуг (R, \bar{R}) , де $S \in R$, а $t \in \bar{R}$.

Тобто розріз складають усі ті і тільки ті дуги, що виходять з вершин $i \in R$ і закінчуються у вершинах $j \in \bar{R}$.

Сума пропускних спроможностей дуг розрізу складає пропускну спроможність (R, \bar{R}) розрізу, тобто

$$r(R, \bar{R}) = \sum_{\substack{i \in R \\ j \in \bar{R}}} r(i, j) \quad (9.4)$$

Розріз мережі, який має найменшу пропускну спроможність, називається *мінімальним розрізом*.

Приклад. Розглянемо мережу, наведену на рисунку 9.1.

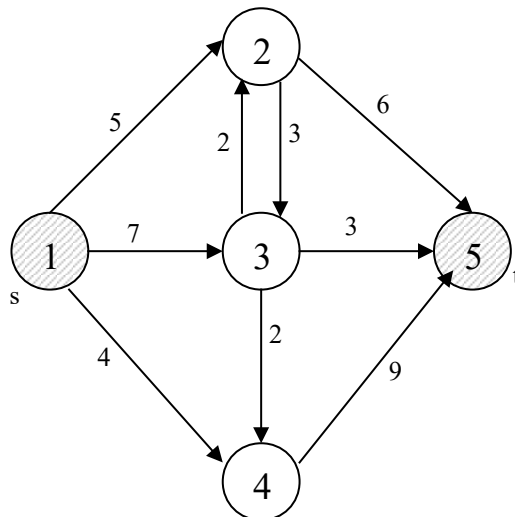


Рисунок 9.1 – Граф мережі з одним витіком s та одним стоком t

Для цієї мережі існує 7 розрізів. Наприклад: $R_1 = \{1,2\}$, тоді $\bar{R}_1 = \{3,4,5\}$ розріз $(R_1, \bar{R}_1) = \{(1,3), (2,3), (2,5), (1,4)\}$.

Пропускна спроможність $(R_1, \bar{R}_1) = 7 + 2 + 6 + 4 = 19$.

$R_2 = \{1,3,4\}; \bar{R}_2 = \{2,5\}; (R_2, \bar{R}_2) = \{(1,2), (3,2), (4,5), (3,5)\}$

Пропускна спроможність $(R_2, \bar{R}_2) = 5 + 3 + 9 + 3 = 20$.

Мінімальний розріз $(R_3, \bar{R}_3) = \{(1,4), (3,5), (2,5), (3,4)\} = 4 + 3 + 6 + 2 = 15$

$R_3(1,2,3); \bar{R}_3 = (4,5)$

Властивість розрізу: розглядаємо довільний розріз (R, \bar{R}) . Який би шлях з S у t ми не розглядали, хоча б одна його дуга входить у даний розріз (R, \bar{R}) , тому що S і t належать різним множинам R і \bar{R} . Тобто, якщо видалити всі дуги якогось розрізу, то в мережі не залишиться шляху, що веде з S до t , тобто будь-який розріз блокує всі шляхи з S у t . У зв'язку з тим, що результат пропускної спроможності шляхів не може бути вище пропускної спроможності будь-якої його дуги, тому сумарний потік V , що тече з S у t по всіх можливих шляхах, не може бути вище пропускної спроможності будь-якого розрізу мережі.

$$V \leq r(R, \bar{R}). \quad (9.5)$$

Тобто, якщо знайти такий потік $X^*(i, j)$, що його величина V^* дорівнює пропускній спроможності деякого розрізу (R^*, \bar{R}^*) $V^* = r(R^*, \bar{R}^*)$, то цей потік буде максимальним, а (R^*, \bar{R}^*) – розріз з мінімальною пропускною спроможністю.

9.3 Теорема про максимальний потік і мінімальний розріз теорема (Форда – Фолкерсона)

Для будь-якої мережі з одним джерелом S і одним стоком t максимальна величина потоку з S у t дорівнює пропускній спроможності мінімального розрізу, що відокремлює S від t . Розглянемо алгоритм розв'язання задачі про максимальний потік в табличній формі.

За допомогою теорії про потоки в мережах розв'язуються задачі про оптимальний потік. У цьому випадку поряд з пропускною спроможністю існує середня обумовлена на всіх дугах, наприклад вартість.

У такій постановці розв'язується транспортна задача: у мережі $G(I, U)$ існує функція $x(i, j) \in U$ така, що

$$\left. \begin{aligned} \sum_j x(i, j) - \sum_j x(j, i) &= d(i), \quad i \in I \\ 0 \leq x(i, j) &\leq r(i, j), \quad (i, j) \in U \end{aligned} \right\} \quad (9.6)$$

$c(i, j)$ визначена на U

$$\sum_{(i, j) \in U} x(i, j) \cdot c(i, j) \Rightarrow \min \quad (9.7)$$

Потік $x(i, j)$, що задовольняє умови, називається оптимальним. У матричній постановці всі пункти $\in I$ поділяються на дві категорії: відправлення і призначення, що зв'язані єдиним маршрутом, а пункти однієї категорії не зв'язані між собою. Однак у реальних задачах, крім пунктів виробництва і споживання, є перевалочні пункти, які не виробляють і не споживають потік, a_i сортувальна станція наприклад може бути зв'язана декількома маршрутами, що проходять через різні пункти мережі.

10 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ

10.1 Основні сучасні аспекти проблеми енергозбереження

У наш час проблема зниження витрат енергоресурсів в усьому світі набуває першорядного значення. До найбільш важливих можна віднести 4 ніжчерозглянуті аспекти.

1 Загроза нормальному існуванню людства від глобального потепління клімату через підсилення парникового ефекту обумовлює невідкладну необхідність істотного зниження теплових викидів в атмосферу, тобто її теплового забруднення. При цьому загально визнано, що основним генератором теплових викидів у наш час є сукупність видів транспорту.

2 Найважливішим критерієм прийняття країн, що розвиваються, у тому числі й України, у прогресивні світові та європейські спільноти високорозвинутих країн є такий показник, як *енергоємність національного продукту* в питомому виявленні,

наприклад джоулів на тонну сталі, цементу, зерна, продукції машинобудування або джоулів на тонно-кілометр перевізної роботи транспорту.

У нашій країні сьогодні цей показник поки що у 5-8 разів вище, ніж у विकорозвинутих європейських країнах, Японії, США.

3 Одним з основних напрямків забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту як на внутрішньому, так і світовому транспортному ринку є зниження витрат енергоносіїв, оскільки їх складова у собівартості перевезень є значною, при цьому ціна енергоресурсів постійно зростає.

4 Використання нафтопродуктів як рідке паливо з точки зору раціонального використання невідновлювальних природних ресурсів у сучасному світі є, можна сказати, «неприпустимою розкішшю», оскільки нафта є джерелом найціннішої хімічної сировини. У цьому зв'язку на залізничному транспорті актуальним є подальший перехід на електричну тягу та використання альтернативних видів енергоресурсів, у тому числі відновлювальних.

10.2 Загальна характеристика енергозбереження в системі залізничного транспорту

Залізничний транспорт є одним з основних споживачів паливно-енергетичних ресурсів у господарському комплексі держави. Він споживає більш ніж 9% виробленої електроенергії. Біля 28% витрат рідкого палива на Укрзалізниці припадає на маневрову роботу.

У «Концепції та програмі реструктуризації залізничного транспорту України» підкреслюється, що ресурсозберігаючі технології повинні мати *комплексний характер*, тобто сприяти зниженню паливно-енергетичних ресурсів, локомотиво- та вагоно-годин простою, покращенню кількісних та якісних показників роботи усіх ланок залізничного транспорту.

Інструментом для реалізації цих технологій є автоматизація технологічних процесів, використання принципів логістики та *сучасних інформаційних технологій*, у тому числі розроблення та удосконалення автоматизованих робочих місць (АРМ)

оперативного та диспетчерського персоналу, а також систем підтримки прийняття рішень (СППР) з використанням загально-сітьової бази даних та бази знань.

Приклад 1. У тязі поїздів одним з найважливіших факторів спостереження є додержання графіка руху поїздів (ГРП) та мінімізація кількості зупинок вантажних поїздів. Витрати енергії при кожному циклі «зупинка – розгін» вантажного поїзда становлять 1,5-2,0 % від повної витрати на поїздку.

Приклад 2. В організації пропуску поїздів у випадку пропуску щільним пакетом, що в цілому є прогресивним способом, виникають додаткові втрати електроенергії. Так, на ділянках змінного струму при інтервалі попутного прямування 10 хв технологічні втрати збільшуються з 2-4 до 7-9 %.

Перевитрати, що пов'язуються з людським фактором, оцінюються не менш ніж у 20% у порівнянні з оптимальними потребами.

Поряд з реорганізацією структурних підрозділів важливим елементом ресурсозбереження є удосконалення технології роботи. Особливо це стосується господарства перевезень. Перегляд технології роботи станцій спрямований на прискорення вантажних операцій, скорочення обсягів роботи, що виконується у нічний час, концентрацію переробки вагонів і вантажів на великих станціях із сучасним ресурсозберігаючим технічним оснащенням.

Для удосконалення перевізного процесу на основі ресурсозбереження є можливість широко використовувати різноманітні системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників, системи планування маршрутних перевезень масових вантажів, оскільки близько 75 % такого вантажу, як кам'яне вугілля, перевозиться відправницькими без переробки на шляху прямування і ступінчастими маршрутами.

Необхідність ресурсозбереження спонукала сконцентрувати управління рухом поїздів на залізницях України з єдиних диспетчерських центрів (ЄДЦУ). До їх складу входять відповідні диспетчерські кола, автоматизовані робочі місця. Багато з них оснащені персональними комп'ютерами, що включені у єдину мережу передачі даних. Поїзний диспетчер і черговий по станції в реальному режимі часу бачать графік виконаного руху поїздів,

дислокацію вагонів на коліях станції, дальній підхід поїздів до диспетчерської дільниці. Це дозволяє вчасно приймати ресурсозберігаючі рішення у ситуації, яка склалася, і планувати поїзну роботу на 5-6 год уперед. ЄДЦУ обладнані високоякісним оперативним зв'язком зі станціями. Введення в дію ЄДЦУ значно підвищило рівень інформатизації перевізного процесу, поліпшило контроль за рухом поїздів, підвищило ефективність прийняття оперативних рішень.

Одним із важливих напрямків ресурсозбереження на залізничному транспорті є формування *системи логістичних центрів* на основі інформаційних ресурсів Укрзалізниці. Впровадження логістичних технологій у перевізний процес забезпечує координацію в роботі залізниць з іншими видами транспорту, зокрема морським і автомобільним, внаслідок чого скорочуються непродуктивні простої вагонного парку, особливо в припортових залізничних вузлах.

Відповідно до наведених заходів ресурсозбереження на залізничному транспорті сформовано класифікатор критеріїв ресурсозберігаючих технологій.

10.3 Класифікатор критеріїв ефективності ресурсозберігаючих технологій на залізничному транспорті

Для вибору оптимального варіанта технологічного процесу з мінімальними витратами палива, енергоресурсів, мінімальним простоем вагонів та локомотивів доцільно використовувати критерії ефективності.

Критерії впливу ресурсозберігаючих технологій (РЗТ) на удосконалення обробки поїздопотоків:

- стабілізація графіка прямування поїздів, хв/рейс;
- зниження витрат на обробку поїздів, грн/потяг або год/потяг;
- прискорення завантаження-розвантаження з використанням сучасних технологій, включаючи спеціальні термінали інтермодальних перевезень, год/ваг;
- зменшення експлуатаційних витрат, грн/р.

Критерії впливу РЗТ на підвищення безпеки руху та поліпшення умов праці:

недопущення експлуатації вагонів з вичерпаним терміном служби;

підвищення безпеки руху поїздів, випадків за рік, п/р.;

підвищення схоронності вантажів, грн/р. або п/р.;

покращення технічного стану вагонів, п/р.;

поліпшення умов праці в залізничній галузі,

год лікарн./люд.р.;

зниження негативного впливу на здоров'я людей електромагнітних полів електропоїздів, год лікарн./люд.р.;

зниження негативного впливу функціонування залізничного транспорту на довкілля, грн/р.;

підвищення комфорту роботи машиніста засобами ергономіки;

відеовідтворення інформації на пульті машиніста про поточний стан поїзда в реальному часі.

Критерії зменшення питомих витрат енергоносіїв:

зменшення опору руху поїзда, (у тоннах паливно-енергетичних ресурсів, що припадають на одиницю транспортної роботи) тПЕР/ ткм брутто;

підвищення ККД тягового рухомого складу (ТРС), %;

поліпшення показників використання ТРС, які безпосередньо впливають на витрати енергоресурсів, тПЕР/ ткм брутто;

зменшення витрат електроенергії в системі енергопостачання на тягу поїздів, кВт·год;

зменшення крадіжок дизпалива, п/р.;

скорочення споживання енергоресурсів у нетяговій сфері, т ПЕР/р.

Критерії впливу РЗТ на економію паливно-енергетичних ресурсів:

зменшення витрат на закупівлю електроенергії на енергоринку з використанням диференційованих у часі тарифів на електроенергію, грн/р.;

зменшення плати за перетікання реактивної електроенергії, грн/р.;

оптимізація режимів роботи електромереж у цілому;
зменшення витрат енергоносіїв на тягу поїздів, грн/р.

Критерії покращення рухомого складу завдяки впровадженню РЗТ:

покращення використання вантажних вагонів (оцінюється середнім значенням коефіцієнта тари як відношенням роботи брутто-тонно-кілометрів до кілометр тари вагона), ткм брутто/км тари;

підвищення ефективності використання парку пасажирських вагонів (оцінюється середнім значенням коефіцієнта населеності вагона), люд/ваг;

покращення використання локомотивів, км пробігу/р.;

скорочення експлуатаційних витрат, грн/р.;

зменшення штрафних санкцій від прострочення терміну доставки вантажів, грн/р. або %/р.;

покращення технічного стану локомотивів і вагонів (коефіцієнт готовності);

зменшення обігу вантажного вагона, доб;

зменшення енергомісткості залізничних перевезень, грн/ткм брутто;

зменшення витрат на обслуговування та ремонт тягових одиниць, верхньої будови колії, інших залізничних споруд та комплексів, грн/р.;

підвищення потужності на вісь тягової одиниці, кВт/вісь;

використання нагрівостійких ізоляційних матеріалів у двигунах електропоїздів;

системний підхід до розроблення нової одиниці рухомого складу у стадії проектування на базі використання математичного та комп'ютерного моделювання, тобто з урахуванням взаємозв'язків об'єкта управління, системи управління і мети управління;

удосконалення систем та пристроїв захисту електрообладнання локомотивів від перенапруги, боксування тощо, п/р. (тобто зменшення очікуваного числа відмов за рік);

підвищення коефіцієнта готовності тягових одиниць, тобто зниження числа відмов їх обладнання, п/р.;

використання бортових та стаціонарних пристроїв діагностики з метою підвищення коефіцієнта готовності та переходу до ремонту за фактичним технічним станом замість планово-попереджувального та для зниження експлуатаційних витрат, п/р.;

модернізація схем та вузлів при проведенні капітальних ремонтів рухомого складу;
заміна ступінчастого регулювання напруги на тягових електродвигунах плавним;
заміна реостатного гальмування рекуперативним;
забезпечення можливості використання вантажних електровозів для пасажирських та приміських поїздів;
підвищення потужності локомотива, кВт;
створення двосистемних електровозів.

Загальносистемні критерії:

потрібний обсяг інвестицій, тис. грн;
термін окупності витрат, тис. грн;
питомий економічний ефект за рік на одиницю витрат, економія витрат на розроблення та впровадження, грн;
імпортозаміщення, дол. США або євро;
збільшення попиту на дану технологію або виріб у відповідному сегменті ринку транспортних послуг, %/р. (бажано для трьох сценаріїв – оптимістичного, консервативного і песимістичного);
обчислена тривалість періоду окупності витрат на розроблення та впровадження даної РЗТ (бажано для трьох сценаріїв – оптимістичного, консервативного і песимістичного), міс;
використання системного підходу до нового розроблення у стадії проектування, тобто з урахуванням взаємозв'язків об'єкта управління, системи управління і мети управління;
наявність достатньої кількості працівників відповідної кваліфікації, %.

Критерії впливу РЗТ на удосконалення управління кадрами та їх підготовки:

підвищення ефективності кадрових рішень, р/люди;
покращення інформаційної підтримки процедур управління кадрами, байт/люди;
поліпшення якості системи підготовки, підбору та розподілу кадрів;
зниження травматизму на виробництві, п/р.

Критерії впливу РЗТ на удосконалення процесів перевезення:

зменшення відсотка розриву між експлуатаційними і тарифними тонно-кілометрами, %;

збільшення дільничної швидкості, км/год;

зменшення відсотка порожнього пробігу до вантажного, %;

підвищення середньодобової продуктивності локомотива, тис. ткм брутто;

підвищення середньодобового пробігу локомотива, км.

Критерії впливу РЗТ на удосконалення перевезень залізницями інших держав по території України:

гармонізація нормативної бази рухомого складу України з міжнародними (та міждержавними) нормами, в одиницях обсягу інформації, що припадає на рік, МВ/р.;

пристосованість рухомого складу України до оперативної зміни колісних пар на ширину колії відповідно до європейських стандартів, %;

модернізація верхньої будови колії, рухомого складу, інфраструктури перевезень на вітчизняних ділянках міжнародних транспортних коридорів у відповідності до норм суміжних країн, грн/км.

Згідно з розробленими критеріями, впроваджуються ресурсозберігаючі технології у перевізному процесі в господарстві перевезень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Поттгофф Герхарт. Учение о транспортных потоках: Пер. с нем /Под ред. Е.П. Нестерова. – М.: Транспорт, 1975. – 344 с.
- 2 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте /Под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994.
- 3 Левин Д.Ю. Оптимизация потоков поездов. – М.: Транспорт, 1998. – 298 с.
- 4 Буянова В.К., Сметанин А.И., Архангельский Е.В. Система организации вагонопотоков. – М.: Транспорт, 1988. – 318 с.

- 5 Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. – М.: Транспорт, 1985. – 214 с.
- 6 Балашевич Б.А. Математические методы в управлении производством. – Минск: Высшейш. шк., 1976. – 334 с.
- 7 Галабурда В.Г. Оптимальное планирование грузопотоков. – М.: Транспорт, 1985.
- 8 Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. – М.: Транспорт, 1985.
- 9 Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1972.
- 10 Стенбринк П.А. Оптимизация транспортных сетей. – М.: Транспорт, 1981.
- 11 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1997.
- 12 Федотов Н.И., Быкадоров А.В. Применение теории вероятностей в транспортных расчетах. – Новосибирск, 1969.
- 13 Рекомендації з техніко-економічних розрахунків окремих показників експлуатаційної роботи залізниць. – К.: Транспорт України, 2002.
- 14 Макаренко М.В. Краткий справочник показателей эксплуатационной работы железных дорог Украины. – К.: Юникон пресс, 2001.
- 15 Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: Навч.-метод. посібник. – К.: Транспорт України, 2002.
- 16 Основи теорії транспортних процесів та систем: методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічної, контрольної роботи та практичних занять /Т.В. Бутько, О.І. Гребцов. – Харків: УкрДАЗТ, 2008.
- 17 Використання математичних методів та персональних ЕОМ при рішенні експлуатаційних задач: Методичні вказівки для студентів спеціальності «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті». – Харків: ХарДАЗТ, 1999.
- 18 Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України // Магістраль. – 2007. – 14 січ.
- 19 Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 66.

Т.В.Буцько, О.І.Гребцов, Т.В.Головко

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

Конспект лекцій
з дисципліни
"основи теорії транспортних процесів та систем"

Відповідальний за випуск Гребцов О.І.
Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку

Формат паперу

Умови – друк. арк.

Замовлення №

.Обл.-вид. арк.

.Тираж 100.Ціна договірна

Видавництво УкрДАЗТу, Свідоцтво ДК № 112 від
06.07.2000р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків – 50, пл. Феєрбаха, 7