

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



В І С Н И К
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ
ВИПУСК 4

BULLETIN OF ENGINEERING
ACADEMY OF UKRAINE
Issue 4

Київ 2015 Kyiv

УДК 656.22

Музикін М. І., магістр, аспірант
Нестеренко Г. І., к.т.н., доцент
Горобець В. Л., д.т.н., професор

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ УНІФІКОВАНОЇ МАСИ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ НА НАПРЯМКАХ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна, mihailmuzykin@gmail.com

Задача вибору норм маси поїздів відноситься до класу експериментальних задач і її вирішення потребує знаходження оптимуму: такої вагової норми, при якій приведені витрати по здійсненню перевезень будуть мінімальними. Запропонована методика техніко-економічних розрахунків норм маси вантажних поїздів, розглянуто взаємозв'язок норм маси з основними показниками експлуатаційної роботи, експлуатаційно-економічну ефективність підвищення маси вантажних поїздів, взаємозв'язок між нормами маси поїздів та перевізними витратами.

Ключові слова: маса поїзда; потужність тягових засобів; провізна спроможність; ходова швидкість; оптимізація норм маси; уніфікована маса.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

Норма маси вантажних поїздів є одним з основних показників, який в більшій мірі визначає кількість та якість сторони експлуатації залізниць. Маса поїзда визначає, перш за все, розміри руху, необхідну потужність локомотивів і корисну довжину станційних колій. З масою поїзда пов'язані наявна провізна та пропускна спроможність залізничних ліній, а також ефективність їх використання, в певній мірі (при заданих типах локомотивів) швидкість руху, а відповідно і потреба у вагонному і локомотивному парках для виконання заданого обсягу перевезень. Маса поїзда визначає також експлуатаційні вимоги до потужності колій та споруд, параметрів технічного оснащення залізничних станцій, конструкції вагонів і локомотивів, пристроїв сигналізації, централізації, блокування (СЦБ) та зв'язку.

Маса поїзда впливає на експлуатаційні та економічні показники роботи рухомого складу. З нею пов'язані продуктивність локомотивів, напруженість роботи і відповідно ступінь зносу верхньої будови колії, інтенсивність використання потужності локомотивів і характер динамічного впливу рухомого складу на інші пристрої, які забезпечують надійність роботи і безпеку руху.

Так, не дивлячись на те, що графіком руху на кожному напрямку передбачена певна норма маси поїздів, на практиці присутнє відхилення маси поїзда від цієї норми в широкому діапазоні. Це можна пояснити тим, що розрахункові норми маси поїздів встановлюються частіше за все виходячи з потужності тягових засобів і профілю колії, хоча існує обмеження по корисній довжині станційних колій. Також існує різниця між структурою вагонопотоків, тому поїзда можуть бути повносоставними або повноваговими. Відхилення в бік підвищення маси поїзда нерідко пов'язано із застосуванням кратної тяги, а при відхиленні маси поїздів в менший бік від норми часто має місце недовикористання тягових засобів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемі вибору найвигідніших значень маси вантажних поїздів присвячено багато досліджень. До них відносяться праці вчених: Г. І. Черномордіна і Б. Е. Пейсахзона, які присвячені вибору найвигідніших норм маси, а також відповідних їм довжин станційних приймально-відправних колій і необхідної потужності тягових засобів на перспективу; роботи вчених Б. М. Максимовича і Е. Д. Фельдмана [8], присвячені встановленню взаємозв'язку норм маси з експлуатаційно-економічними показниками роботи напрямків і вибору уніфікованих норм маси поїздів. У роботах К. К. Тіхонова [7] досить докладно досліджені питання техніко-економічної ефективності підвищення норм маси вантажних поїздів кратної тягою (шляхом секціонування електровозів і тепловозів різних типів в голові поїздів або застосуванням підштовхування). К. К. Тіхоновим досліджувалися також оптимальні рівні

норм маси поїздів при заданому типі локомотива і довжині станційних колій, вплив норм маси поїздів на вибір оптимальної довжини ділянок обігу локомотивів, проблема вибору оптимальних норм маси передаточних поїздів у вузлах. Методика вибору найвигідніших норм маси вантажних поїздів в поточних експлуатаційних умовах і нормативи таких розрахунків наведено в роботі К. К. Тіхонова про методику і систему техніко-економічних розрахунків в експлуатації залізниць [7].

Питання про найвигідніше поєднання маси та швидкості руху вантажних поїздів неодноразово досліджувалося, але автори приходили до різних висновків залежно від вихідних передумов, застосованого методу дослідження і розглядаємих конкретних умов. До переліку основних досліджень з даної проблеми потрібно віднести роботи наступних авторів: Б. Д. Воскресенського, А. Л. Васютинського, Е. В. Михальцева, А. М. Бабичкова, В. Н. Орлова, Ф. П. Кочнева, Г. І. Черномордіна, Б. М. Максимовича, Б. Е. Пейсахзона, К. К. Тіхонова, І. Т. Козлова, В. П. Ярошевича, А. М. Макароцькіна, Є. А. Сотнікова, Ю. В. Дьяконова, А. П. Романова, Н. А. Воробйова, А. С. Савенко, Г. І. Нестеренко та ін. [1-9]

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Задача вибору норм маси поїздів відноситься до класу експериментальних задач і її вирішення потребує знаходження оптимуму: такої вагової норми, при якій приведені витрати по здійсненню перевезень будуть мінімальними. При цьому необхідно зазначити, що витрати на виконання перевезень на одноколіній і двоколіній ділянках будуть різними.

Мета статті

Вивчення фактичного розподілу мас поїздів і виявлення можливих закономірностей у випадкових коливаннях цих мас необхідно для розробки варіантів можливих єдиних або диференційованих, з переломами або уніфікованих вагових норм поїздів і відповідних систем тягового обслуговування напрямку. Це також необхідно для визначення економічно виправданих норм маси поїздів, з оптимізацією на основі показників графіку руху поїздів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Потужність тягових засобів можна використовувати або на збільшення маси, або на збільшення ходової швидкості поїзда. При досить різних фактичних масах поїздів і одному й тому самому типі локомотивів потужність їх може бути використано повністю, якщо кожен поїзд буде слідувати з максимальною швидкістю, яка відповідає його масі та потужності локомотива. Але і таке використання потужності тяги неможливе: у графіку руху поїзда, незалежно від їх маси та тягових засобів, прокладені з однією і тією ж розрахунковою ходовою швидкістю, яка визначається найменшою питомою потужністю тяги. Якщо фактична питома потужність у тих чи інших поїздів вища за розрахункову, то потужність локомотива буде використовуватись не в повній мірі. Якщо у окремій категорії поїздів фактична питома потужність тяги нижча за розрахункову, то необхідне використання кратної тяги.

Фактичні маси поїздів за даними вибіркової статистики розподілені наступним чином від 1000 до 5000 т і більше, причому приблизно 50 % лежить в межах 2900-4400 т, середня фактична маса поїздів 3700 т, а розрахункова маса за графіком 4000 т. В межах імовірності фактичні маси поїздів відхиляються в той чи інший бік на 1200 т.

З фактичними масами поїздів брутто, нетто та їх довжиною пов'язані такі важливі показники як відхилення маси нетто до маси брутто завантаженого вагонопотоку (коефіцієнт ϕ) і погінне навантаження рухомого складу. Вивчення фактичних розподілів всіх цих показників має важливе значення при виборі раціональних норм маси поїздів і системи тягового обслуговування.

При розрахунковій масі потужність локомотива використовується повністю тільки у 20,5 % поїздів, у інших поїздів потужність локомотивів недовикористовується і тим більше, чим менша фактична маса поїзда. Це не означає, що диференційовані ходові швидкості краще паралельного графіка: в такому випадку покращення використання тягових засобів супроводжувалося значними додатковими затратами поїздів в очікуванні відправлення по своїй «нитці графіка», з'явилися б обгони одних вантажних поїздів іншими і пов'язаний з цим додатковий коефіцієнт зйому. Вибір єдиної розрахункової (ходової) для побудови паралельного графіка руху прямої безпосередньо пов'язали з вибором ваго-

вих норм вантажних поїздів і системи тягового обслуговування. В подальшому все ж доцільно було перейти на диференційовані ходові швидкості вантажних поїздів різної маси.

Приблизно 80 % всіх поїздів мають довжину в межах 750-850 м при стандартній довжині (корисній) колій на ділянці 850 м, це дає право стверджувати, що поїзди формуються не по ваговій нормі поїздів, а по уніфікованій довжині поїздів, тобто поїзди формуються не повноваговими, а повносотавними. Лише приблизно 3 % всіх поїздів уходять довгосоставними і тільки 15 % важковаговими (масою більше 3000 т мають довжину меншу можливої по місткості станційних колій). Лінія теоретичного розподілу довжини составів умовна, тому що в дійсності емпіричний розподіл в даному випадку не відповідає нормальному закону. Це визвано тим, що корисна довжина колій є основним фактором, що обмежує величину составів, а в поєднанні з погінним навантаженням – основні фактори, що обмежують фактичну масу відправляємих поїздів.

З виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

- 1) не дивлячись на широкий діапазон маси на розглядаємому напрямку середня маса бруutto постійна, що можна використовувати для розрахунків розмірів руху і техніко-економічних розрахунків;
- 2) з деякою умовністю можна вважати, що розподіл фактичних мас поїздів на ділянках, де немає чітко вираженого значного потоку важливих відправницьких маршрутів, наближається до нормального закону.

Аналіз фактичної маси поїздів, їх довжин необхідно робити для напрямку окремо для кожного призначення плану формування перед тим, як розробляти варіанти техніко-економічних обґрунтувань норм маси і системи тягового обслуговування.

Потрібні розміри руху пов'язані з середньозваженою масою вантажних поїздів на даному напрямку. Ходова швидкість руху пов'язана з масою поїзда або заданою потужністю локомотива, або питомою потужністю тяги. Існує залежність: чим вища розрахункова швидкість, тим менша можлива маса і навпаки. Слід сказати, що при рівних умовах, чим більша питома потужність тяги, тим вище ходова швидкість. Дільнична швидкість пов'язана з масою поїзда через ходову швидкість. Середньодобовий пробіг вагонів пов'язаний з масою поїздів через дільничну швидкість і простій вагонів на технічній станції. Простій вагонів на технічній станції пов'язан з масою поїзда не тільки тривалістю маневрів по формуванню, перестановці, розформуванні поїздів, але і головним чином часом простою вагонів під накопиченням. Взаємодія середньодобового пробігу вагону з дільничною швидкістю і середньою тривалістю обробки вагона на технічній станції, залежними від маси поїзда. Продуктивність локомотива пов'язана з масою поїзда через середньодобовий пробіг локомотива. Також слід відзначити, що від маси поїзда залежать і вагонний парк, локомотивний парк, швидкість доставки вантажів, потрібне число бригад і інші показники.

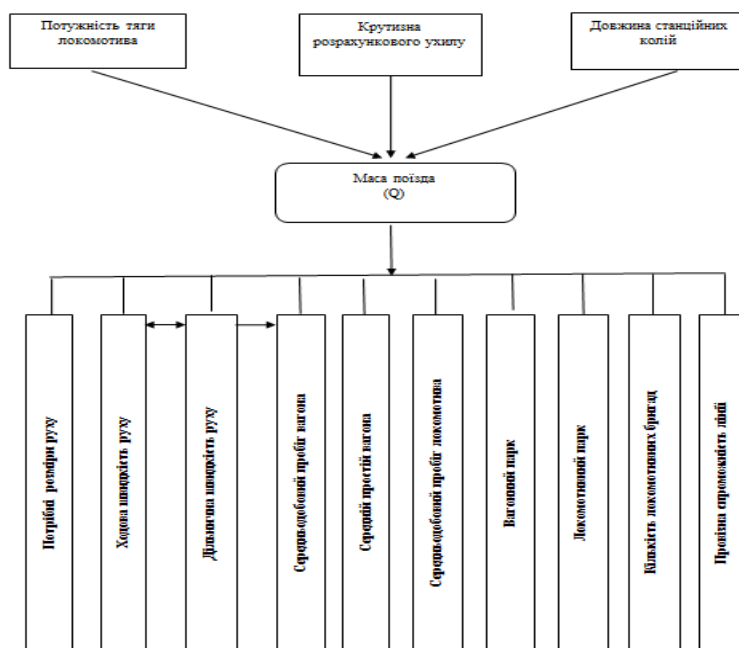
Маса бруutto вантажних поїздів є величиною, що пов'язана практично зі всіма показниками експлуатаційної роботи (див. рисунок 1).

Задача вибору норм маси поїздів відносять до класу експериментальних задач і її рішення потребує відшукування оптимума: такої масової норми, при якій приведені витрати по здійсненню перевезень будуть мінімальними. При цьому необхідно зазначити, що витрати на виконання перевезень на одноколіїній і двоколіїній ділянках будуть різними. Для збільшення маси поїздів при заданій довжині станційних колій можуть бути використані наступні способи:

- 1) при тому ж локомотиві за рахунок зниження ходової швидкості, якщо діюча норма маси нижча розрахункової (див. таблицю 1);
- 2) за рахунок збільшення потужності тяги (див. таблицю 2).

При збільшенні норм маси, посиленні потужності тягових засобів, особливу увагу слід звернути на зміну питомої потужності тяги. Так, якщо вона залишається незмінною при збільшенні тягових засобів, то ходова швидкість, витрати енергоносіїв, вартість локомотивного парку і пов'язані з ним техніко-економічні показники не зміняться. Якщо ж питома потужність теж збільшується, то відповідно зростає і ходова швидкість, що дає додаткові техніко-економічні переваги, але виникають додаткові витрати.

Збільшення ходової швидкості пов'язано з додатковими витратами на подолання збільшеного основного опору руху, що викликає збільшення витрат на енергоносії та утримання колії і рухомого складу.



Таблиця 1

Переваги та недоліки першого способу збільшення маси поїздів

Кількість колій на дільниці	Експлуатаційно-економічні переваги	Фактори, які знижують ефективність збільшення маси поїзда
Двоколійна дільниця	- за рахунок скорочення розмірів руху зменшується кількість потрібних локомотивів та локомотивних бригад; - за рахунок зниження питомої маси локомотива в поїзді знижується витрати енергоносіїв; - скорочуються витрати на маневрову роботу, які залежать від розмірів руху; - накопичується пропуск поїздів по ділянкам (зменшення ймовірності непередбачуваних витрат від випадкових затримок поїздів, кількість яких прямопропорційна розмірам руху)	- збільшення простою вагонів під накопиченням в пунктах формування поїздів; - затримка обігу вагонів та локомотивів, головним чином на двоколійній лінії.
Одноколійна дільниця	- може мати місце скорочення потрібного парку локомотивів і вагонів не тільки за рахунок зменшення розмірів руху, але й за рахунок підвищення дільничної швидкості; - за рахунок зменшення числа зупинок для схрещення скорочуються витрати електроенергії та знос технічних засобів; - можливе прискорення просування вантажів, якщо зростає дільнична швидкість; - в окремих випадках на одноколійних лініях з'являється можливість скоротити кількість поїздів; - з'являється можливість віддалення капіталовкладень з посилення пропускної спроможності лінії.	

Збільшення норм маси вантажних поїздів, яке досягають за рахунок введення більш потужного типу

локомотива при збереженні існуючої довжини приймально-відправних колій можливо лише в тому випадку, коли до цього місткість колії була використана не в повній мірі.

Таблиця 2

Переваги та недоліки другого способу збільшення маси поїздів		
Кількість колій на дільниці	Переваги при застосуванні більш потужного локомотива	Фактори, які знижують ефективність збільшення маси поїзда
Двоколійна дільниця	1. скорочення кількості локомотивних бригад; 2. скорочення потрібної кількості бригад локомотивів; 3. підвищення ходової та дільничної швидкості руху; 4. скорочується кількість приймально-відправних колій; 5. в зв'язку зі зменшенням розмірів руху покращується експлуатація лінії	1. збільшення витрат на утримання локомотивного господарства; 2. при електричній тязі необхідні додаткові витрати на утримання пристроїв енерго-постачання.
Одноколійна дільниця	Окрім перерахованих вище переваг 6. дільнична швидкість зростає в більшій ступені, ніж ходова.	

В практичних умовах на теперішній час, якщо посиленням тяги збільшується норма маси не всіх, а лише частини поїздів, то через паралельність графіка руха організувати надлишкову потужність локомотива на одночасне збільшення ходової швидкості всіх інших поїздів неможливо. Також ефективність роздільного формування поїздів з різним погінним наван-

таженням визначається при однаковій ходовій швидкості.

Норми маси поїздів розрізняють: поперегінні, дільничні, диференційовані уніфіковані та паралельні. Уніфіковані норми маси поїздів – єдині вагові норми для цілого напрямку. Вони є оптимальними, тому що враховують підбір і розстановку локомотивів, ділянок її обертання, техніко-економічні умови виникнення і просування поїздів. Якщо на ділянку вливаються з інших ліній вантажні поїзди з іншими, ніж встановлені для цієї ділянки ваговими нормами, то такі норми називають паралельними.

Основними експлуатаційно-технічними показниками, які лежать в основі вибору найвигідніших норм маси, є ходова швидкість та механічна робота, що витрачається на тягу поїздів. Ці показники можуть бути отримані точними або приблизними тяговими розрахунками в кожному конкретному випадку при порівнянні варіантів або встановленням певної залежності між масою поїзда, його ходовою швидкістю і витратою механічної роботи на його тягу при заданому типі локомотива на тому чи іншому типі профілю колії.

Слід відзначити, що колійне навантаження залежить від перевезених по напрямку вантажів та їх процентному відношенні. Так, погінне навантаження для вугілля, руди складає 5,9 т/пог.м.; нафтопродуктів – 5,6 т/пог.м; хлібних – 4,9 т/пог.м; лісоматеріалів – 4,4 т/пог.м. У відносності з перевозимою номенклатурою вантажів на напрямку можна визначити і розрахункове погінне навантаження: в середньому на рівні 5,0-5,1 т/пог.м.; для важких вантажів 6,2-6,3 т/пог.м., для інших вантажів – 4,5-4,6 т/пог.м. На основі розглянутих погінних навантажень в перспективі можливо визначити максимально можливу масу поїздів з різною довжиною приймально-відправних колій (див. таблицю 3).

Таблиця 3

Максимально можливі маси поїздів брутто на лініях з різною довжиною приймально-відправних колій

Довжина станційних колій, м.	Маса поїздів брутто, т.	
	Максимальна	Середня
1250	8000	6000
1050	6500	4550
850	5200	3650

Потужність тяги, як і довжина станційних колій і погінне навантаження є одним з обмежень при збільшенні маси поїзда, хоча для сучасних локомотивів це обмеження значно менше, в основному завдяки секціонуванню.

По умові тяги при заданому типі локомотива найбільші норми маси поїздів визначаються, виходячі з умови рівночасного співвідношення сил тяги та опору при русі поїзда при розрахунковому підйомі. На цьому підйомі поїзд досягає постійної швидкості і певний час слідує з нею. За цієї умовою і встановлюється відповідність розрахункової швидкості сил тяги та опору руху.

При заданій потужності тягових засобів маса поїзда та його встановлена швидкість на розрахунко-

вому підйомі пов'язані між собою потужністю тяги. Зі зменшенням швидкості збільшується маса поїзда.

Найбільша провізна спроможність та продуктивність заданого типу локомотива мають місце при максимально можливій масі поїзда. Таким чином, для збільшення провізної спроможності лінії при тому ж типі локомотива доцільно збільшувати до максимально можливої масу поїзда. Звідси можна зробити висновок, що при існуючому типі локомотива в межах, допускаємих довжиною станційних колій та погінним навантаженням рухомого складу, при всіх видах тяги найвигіднішою по умовам кращого використання провізної спроможності є найбільша маса поїзда.

Вибір найвигідніших в техніко-економічному відношенні норм маси поїздів повинен враховувати не тільки собівартість перевезень, але і вартість необхідних при цьому вагонів, локомотивів та вантажу, який знаходиться на колесах, а якщо введення нових норм маси поїздів потребує посилення тягових засобів, колії, маневрових засобів, розвитку станції то і витрати, що необхідні на ці цілі. При цьому капіталовкладення на рухомий склад та постійні пристрої для порівняння варіантів норм маси зручніше враховувати разом з експлуатаційними витратами. До цього капітальні витрати приводять до них через нормативний термін окупності, і такі витрати називають приведеними.

Розрахунок приведених витрат будемо проводити по двом групам показників: витрати пропорційні часу знаходження поїздів на ділянці, та енергія, яка необхідна для їх переміщення.

До часових витрат відносять витрати на придбання потрібного для освоєння заданого об'єму перевезень вагонного та локомотивного парку та вартість вантажу, який знаходиться на колесах, оплата локомотивних та поїзних бригад та поточні витрати на утримання рухомого складу.

Витрати на ремонт рухомого складу та колії також діляться на дві самостійні групи: пропорційні часу та енергії. До енергетичних витрат, пов'язаних з рухом поїздів будемо відносити витрати по ремонту двигунів локомотива від зносу, пропорційного витраті палива та електроенергії на тягу, значну (до 70 %) долю витрат на ремонт верхньої будови колії, амортизацію баласта і шпал, витрати на екіпіровку локомотивів, технічний огляд вагонів та витрати на паливо та електроенергію, витрачаємих на тягу поїзда.

На відміну від часових витрат енергетичні витрати частки капіталовкладень не містять. Це суто експлуатаційні перевізні витрати, які цілком відносяться не тільки на вартість, а й на собівартість перевезень.

Розглядаючи задачу вибору оптимальної маси поїзда необхідно розділити її на етапи:

- 1) оптимізація норми маси при збереженні параметрів тяги та довжини приймально-відправних колій;
- 2) оптимізація норми маси при зміні параметрів тяги та довжини приймально-відправних колій.

Відповідно з цим змінюється методика техніко-економічних розрахунків при порівнянні оптимізації норм маси поїздів (див. таблицю 4). Так, для першої задачі основним фактором (змінним значенням) стає маса бруто поїзда для кожного з розглядаємих варіантів, або як було наголошено раніше – погінне навантаження рухомого складу, що залежить від маси поїзда та сили кратної тяги, з якою поїзд рухається по розрахунковому ухилу (найбільш важкому ухилу) на ділянці обігу поїздів з даною масою бруто.

Таблиця 4

Задача вибору оптимальної маси поїзда

	Оптимізація норми маси при збереженні параметрів тяги та довжини приймально-відправних колій	Оптимізація норми маси при зміні параметрів тяги та довжини приймально-відправних колій
Основний фактор (змінне значення)	Маса бруто поїзда	Дотична потужність локомотива; маса локомотива; вартість локомотива
Вирішення задачі	1. визначити критичну масу поїзда по величині розрахункового підйому та потужності тяги; 2. визначити масу поїзда по максимальному погінному навантаженню на напрямку	За допомогою підбору нового більш потужного локомотива задається маса состава на данному напрямку

Для другої задачі при виборі маси поїзда одночасно з вибором параметрів тяги та довжини стан-

ційних колій, коли тип та потужність локомотива невідомі, можна вирішувати, виходячи з припущення: питома потужність тяги стала у відношенні одиниці маси поїзда, тобто приблизно пропорційна збільшенню сили тяги зі збільшенням маси поїзда. В цих умовах для кожного виду тяги на одному і тому ж профілі середні ходові швидкості руху поїздів різної маси будуть приблизно однаковими. При цьому оговоримо, що швидкість виступає незалежною змінною, такими ж змінними виступають погінне навантаження та довжина станційних колій.

Отже, вищенаведені методи з визначення маси поїзда при варіюванні величинами, таким як швидкість ходу, що залежить від типу тяги, довжиною станційних колій і погінним навантаженням приводять до порівняння варіантів оптимізації маси бруто вантажних поїздів при заданих розмірах вантажопотоку, який необхідно охопити на заданому напрямку.

Висновки

Запропонована методика техніко-економічних розрахунків норм маси вантажних поїздів, розглянуто взаємозв'язок норм маси з основними показниками експлуатаційної роботи, експлуатаційно-економічну ефективність підвищення маси вантажних поїздів, взаємозв'язок між нормами маси поїздів та перевізними витратами.

Основними експлуатаційно-технічними показниками, які лежать в основі вибору найвигідніших норм маси, є ходова швидкість та механічна робота, що витрачається на тягу поїздів. Ці показники можуть бути отримані точними або приблизними тяговими розрахунками в кожному конкретному випадку при порівнянні варіантів або встановленням певної залежності між масою поїзда, його ходовою швидкістю і витратою механічної роботи на його тягу при заданому типі локомотива на тому чи іншому типі профілю колії.

Список літературних джерел

1. Воробьев Н. А. Расчет пропускной способности железных дорог / Н. А. Воробьев, Е. В. Архангельский, Р. И. Мирошниченко и др. // М.: Транспорт. – 1977. – 310 с.
2. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов // М.: Транспорт. – 1985. – 214 с.
3. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников // М.: Транспорт. – 1990. – 424 с.
4. Макарович А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог / А. М. Макарович, Ю. В. Дьяков // М.: Транспорт. – 1981. – 288 с.
5. Савенко А. С. Оптимизация массы грузовых поездов на участках / А. С. Савенко, Г. И. Музыкина // Транспорт: Сб. науч. Трудов. – Днепропетровск: ДИИТ. – 2001. – Вып. 8. – С. 93-97.
6. Сотников Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (Состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников // М.: Транспорт. – 1986. – 256 с.
7. Тихонов К. К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог / К. К. Тихонов // М.: Транспорт. – 1974. – 192 с.
8. Фельдман Э. Д. Унификация весовых норм и ее эффективность / Э. Д. Фельдман // Вопросы унификации весовых норм и маршрутизации грузовых перевозок: Труды ЦНИИ МПС. – М. Транспорт. – 1960. – Вып. 186. – С. 4-84.
9. Ярошевич В. П. Выбор системы мер увеличения пропускной и провозной способности железнодорожных линий / В. П. Ярошевич, М. И. Шкурин // Учеб. Пособие. Белорус. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Гомель: БелИИЖТ. – 1989. – 65 с.