

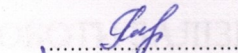
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Навчально-науковий інститут транспорту та будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

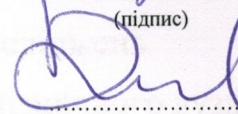
галузі знань 27 – «Транспорт»
спеціальності 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)».

на тему: «Вдосконалення перевезень вантажів за рахунок раціонального розподілу параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках»

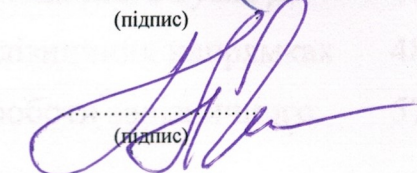
Виконав: студент групи ОПЗТ-19зм
Лакіза Я.Д.


.....
(підпис)

Керівник: ст. викл. Водолазський О.О.


.....
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.


.....
(підпис)

Рецензент: Шелест О.М.

.....
(підпис)

1.4 Щодо визначення оптимальної маси поїзда

Одним із головних параметрів, що характеризує не тільки кількісну, але і якісну сторону роботи залізниць, є маса вантажних поїздів. Маса поїзда: « визначає розміри руху, необхідну потужність локомотивів і корисну довжину приймально-відправних колій, також з масою поїзда пов'язана наявна провізна і пропускна спроможність залізничних ліній, швидкість доставки вантажів, потреба у вагонному і локомотивному парках для освоєння заданого обсягу перевезень» [14].

Проблемі вибору найвигідніших значень маси вантажних поїздів присвячені роботи [15-16], які розкривають питання вибору раціональних норм маси, довжини станційних прийомо-відправних колій і необхідної потужності тягових засобів на перспективу; роботи [17-18] присвячені встановленню взаємозв'язку норм маси з експлуатаційно-економічними показниками роботи напрямків і вибору уніфікованих норм маси поїздів. У роботах [19-21] досить докладно досліджені питання техніко-економічної ефективності підвищення норм маси вантажних поїздів кратною тягою (шляхом секціонування електровозів і тепловозів різних типів в голові поїздів або застосуванням підштовхування). В цих роботах виконується дослідження оптимального рівня норм маси поїздів при заданому типі локомотива та довжині станційних колій, вплив норм маси поїздів на вибір оптимальної довжини дільниць обігу локомотивів, проблема вибору оптимальних норм маси передаточних поїздів у вузлах. Методика вибору найвигідніших норм маси вантажних поїздів у поточних експлуатаційних умовах і нормативи таких розрахунків наведені в роботах [22-23] про методику та систему техніко-економічних розрахунків в експлуатації залізниць.

Всі пропозиції по дослідженню оптимального узгодження маси й швидкості вантажних поїздів у наукових працях згаданих авторів можна розбити на три категорії [24]:

- визначення маси состава й швидкості руху на керівному підйомі на основі паспортної характеристики локомотива;
- вибір оптимального сполучення маси состава й швидкості руху на найважчому перегоні дільниці, що визначає пропускну здатність за принципом досягнення максимальної провізної спроможності;
- вибір маси состава та швидкості руху на керівному підйомі по дільниці, виходячи із принципу найменшої собівартості перевезень.

Маса поїздів на залізницях України (УЗ) обмежується двома параметрами - довжиною приймально-відправних колій та силою тяги локомотива [25-26].

Проблема раціоналізації маси составів поїздів розглядається в роботі [18]. В ній запропоновано розв'язання задачі встановлення раціональної маси составів як за технологічним критерієм, так і за економічним.

Проблема вибору оптимального значення маси поїзда також підіймається в [19]. Припускається, що для прискорення строку доставки та збереження конкурентоспроможності залізниць необхідно буде формувати поїзди меншої маси, основою чого є значно знижені обсяги вантажопотоків на залізницях України [30].

Відомо, що з ростом маси зростають витрати на накопичення составів. З іншого боку, знижується пропускну спроможність дільниць та витрати на оплату праці локомотивних бригад. Згідно [17] раціональний по сумі витрат рівень маси вантажних поїздів залежить від дальності їх слідування, при чому ефект від підвищення маси поїзда тим помітніший, чим потужніші вантажопотоки та більша дальність слідування локомотивів.

В [11] пропонується методика визначення оптимальної маси поїзда з урахуванням часу його формування, приймаючи за критерій мінімум прямих експлуатаційних витрат при заданому рівні технічного використання локомотивів.

Задача визначення маси та довжини поїзда з метою встановлення оптимальної норми составу поїзда розв'язується в [19], при цьому був

обраний критерій, виражений в приведених вагоно-годинах, які враховують витрати локомотиво-годин та енергетичні через коефіцієнти приведення.

Важливе значення при рішенні задачі вибору раціональної норми маси поїздів має термін доставки. Час на доставку вантажу, який забезпечує конкурентоспроможність залізничних перевезень, в роботі [20] запропоновано визначати як допустиму тривалість знаходження вантажу в межах даної ділянки. Запропонований у [22] підхід відповідає прагненню формувати повноскладні та повновагові поїзди, а також надає можливості визначення раціонального ряду потужностей локомотивів і створення відповідного парку.

Обіг поїздів підвищеної маси та довжини призводить до подовження приймально-відправних колій, модернізації та підсилення пристроїв тягового енергозабезпечення та засобів СЦБ [23-24].

Для реалізації програми зростання середньої маси та довжини поїзда при дефіциті довжини приймально-відправних колій на станціях розробляються нові технології формування, обробки та пропуску таких поїздів [25]. При цьому використовується принцип системного підходу. Особлива увага надається формуванню поїздів підвищеної довжини: розроблена програма та методика проведення дослідних поїздок динамометричного вагона в поїздах підвищеної маси та довжини, яка дозволяє кожній локомотивній бригаді вести такі поїзда в режимах, найбільш близьких до раціональних, з найменшими витратами часу та ресурсів.

У роботах [16-17] на основі аналізу причин пошкодження автозчіпних пристроїв рухомого складу поїздів підвищеної маси і довжини показані найбільш імовірні причини порушення безпеки руху поїздів. Представлені шляхи підвищення безпеки руху і причини додаткового опору руху поїзда.

Висновок по 1 розділу

Аналіз матеріалів, присвячених сучасним проблемам управління вагонопотоками, показав значний інтерес до цього напрямку досліджень і те, що питання про її остаточне рішення залишається відкритим, даний напрям розробок є актуальним.

Для розробки методів формування раціональної технології пропуску потоків вантажних поїздів на залізничних напрямках, залежно від часу руху та витрат енергетичних ресурсів, необхідна побудова адекватних математичних моделей технологічних процесів роботи залізничних станцій та напрямків і розробка методів техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів поїздопотоків. Вирішення поставлених задач дозволить отримати рекомендації щодо раціональної технології пропуску поїздів на полігонах, параметрів поїздопотоків, внаслідок чого зменшити енергетичні витрати на транспортування вантажів, а також витрати клієнтів-підприємств на транспортну складову. Це дозволить зменшити собівартість продукції та підвищити конкурентоспроможність продукції підприємств.

2. ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ПОЇЗДОПОТОКІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЇХ ВПЛИВУ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЦЬ

Теорії транспортних потоків розроблялися представниками двох груп вчених: математиками, які на транспорті знаходили можливості кількісної оцінки функціонування систем та вченими-транспортниками, які вивчали теорію потоків для вирішення прикладних задач [11]. Тому і виникло два напрямки розвитку теорії, один з яких базується на ідеях лінійного програмування та теорії графів, інший закладає в основу апарат теорії ймовірностей і математичної статистики.

Вміння раціонально розподіляти потоки поїздів як у межах залізничного вузла, так і на мережі залізниць в цілому, дозволить вирішити низку питань, пов'язаних з тривалістю доставки вантажів, обмеженням пропускної спроможності залізничних ліній, зменшенням експлуатаційних витрат. В сучасних умовах питання дослідження закономірностей зміни експлуатаційних витрат та собівартості вантажних перевезень на мережі залізниць в залежності від обсягів роботи та розмірів руху залишається актуальним.

Інформація про раціональні маршрути руху поїздопотоків за критеріями тривалості руху та вартості пропуску поїздів може бути корисною для оперативного диспетчерського персоналу залізниць. Організація руху з урахуванням даної інформації дозволить зменшити витрати механічної роботи на переміщення рухомого складу та зменшити тривалість доставки вантажів.

Реалізація задачі визначення раціональних маршрутів руху поїздів для заданої мережі залізниць неможлива без аналізу характеристик поїздопотоків, а також параметрів одиниць потоку, характеру їх розподілу та принципу організації перевезень. В даному розділі поставлена задача вивчення характеристик поїздопотоків у залізничних вузлах та на

залізничних напрямках статистичними методами для подальшого використання їх в моделі розподілу поїздопотоків на мережі (в тому числі у залізничному вузлі), імітаційній моделі залізничного напрямку з метою дослідження технології перевезень.

2.1. Послідовність та методи проведення досліджень

Залізничний напрямок представляє собою складну, динамічну, стохастичну, ергатичну систему. Цілями даної системи є забезпечення перевезень вантажо- та поїздопотоків із заданою маршрутною швидкістю з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні безпеки руху. Залізничному напрямку як системі властива багатокритеріальність, багатокритеріальність, високий динамізм поведінки [17, 18].

Підсистемами залізничного напрямку є технічні станції та залізничні дільниці, елементами виступають колії перегонів, приймально-відправних та сортувальних парків станцій, горловини станцій, поїзди, локомотиви, вагони, працівники тощо. Підсистеми окремого залізничного напрямку, як і різні напрямки, поєднані між собою множиною прямих та зворотних зв'язків, що змінюються у часі. Між елементами системи мають місце фізичні та інформаційні зв'язки. Стан системи характеризується положенням та станом її окремих елементів у просторі та часі. Входом та виходом системи «залізничний напрямок» постає поїздопотік із та на суміжні напрямки. Поведінка цієї системи обумовлюється в основному впливом системи управління та значно залежить від обсягів та вхідних поїздопотоків.

Під час пропуску по напрямку вагонопотоки проходять ряд фаз обслуговування. В залежності від структури напрямку це фази переробки потоків на сортувальних та дільничних станціях, пропуску потоків по залізничним дільницям. Кількість дільниць та станцій переробки на напрямку може коливатися в широких межах в залежності від його довжини.

Для проведення дослідження та підвищення ефективності роботи залізничних напрямків за рахунок визначення раціональних параметрів поїздопотоків необхідно використовувати системний підхід. Тому при побудові моделі системи «залізничний напрямок» виконано її декомпозицію: модель залізничного напрямку поділяється на моделі технічних станцій та дільниць. Для кожної моделі характерні свої задачі та методи дослідження, при цьому вихідні дані на нижчому рівні є вхідними даними для вищого рівня.

На мікрорівні об'єктом дослідження є процес переробки транзитних вагонопотоків та формування поїздопотоків на сортувальних та дільничних станціях напрямку з технологією формування поїздів з різними параметрами ваги та довжини. Для визначення тривалості проведення операцій використано існуючі методики їх розрахунку та проведено хронометраж операцій на реальних залізничних об'єктах - станціях Нижньодніпровськ-Вузол, Джанкой, ряді залізничних дільниць. При виконанні дослідження використовуються методи математичної статистики, планування факторних експериментів, імітаційного моделювання тощо. Також на мікрорівні вивчаються характеристики існуючих поїздопотоків на в розрізах залізничних напрямків (на перегонах та станціях). Задачами дослідження є виявлення закономірностей між параметрами поїздопотоків та експлуатаційними показниками станцій.

На макрорівні об'єктом дослідження є процес пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку, що являє собою систему масового обслуговування (СМО), окремими фазами якої є станції та дільниці. Тому зміна обсягів вагоно- та поїздопотоків, їх параметрів, технології переробки впливає на завантаження залізничних об'єктів та виконавців, на міжопераційні простої та тривалість знаходження рухомого складу в окремих фазах обробки та в СМО взагалі, і відповідно на експлуатаційні витрати залізниць [19]. Задачами дослідження на цьому рівні є побудова адекватних функціональних моделей залізничних напрямків для визначення техніко-експлуатаційних показників

їх роботи. Основними методами дослідження є методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів та тягові розрахунки.

На метарівні об'єктом дослідження є процес перевезень вантажів в цілому. Економічна ситуація в країні та світі повинна впливати не тільки на умови та обсяги роботи промислових підприємств, а і на технологію їх обслуговування підприємствами транспорту в плані швидкості доставки вантажів, собівартості перевезень та ін. Оскільки залізниці мають значні витрати на утримання власної інфраструктури, то перед ними постає проблема адаптації до поведінки зовнішнього середовища. Зміна маси та довжини составів, що формуються на технічних станціях, впливає на тривалість доставки вантажів та експлуатаційні витрати залізниці. Тому адаптація параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках до впливів зовнішнього середовища є одним з можливих шляхів підвищення ефективності залізничних перевезень. Раціональні параметри поїздопотоків передбачається визначити з використанням методів векторної оптимізації.

2.2 Аналіз характеристик поїздопотоків залізничного вузла Д.

До Залізничного вузла Д. надходять поїздопотоків з двох напрямків: зі станції Сух. (парний напрямок) та зі станцій Сам. та І. (непарний напрямок), з яких прибувають поїзди трьох категорій: поїзди у переробку, вантажні транзитні і пасажирські (рис. 2.1).

Також у вузлі курсують передаточні поїзди для розвозу місцевого вантажу. До станції З. примикає одноколійна дільниця З. – А., напрямку М. – Х. Крім того, існує можливість обходу залізничного вузла Д. - для цього прокладена одноколійна дільниця між станціями Н. та Дн., довжина руху по якій не набагато перевищує довжину по основному ходу (74 км проти 72 км). Діаграма розподілу поїздопотоків залізничного вузла Д. по категоріям наведена на рис. 2.2.

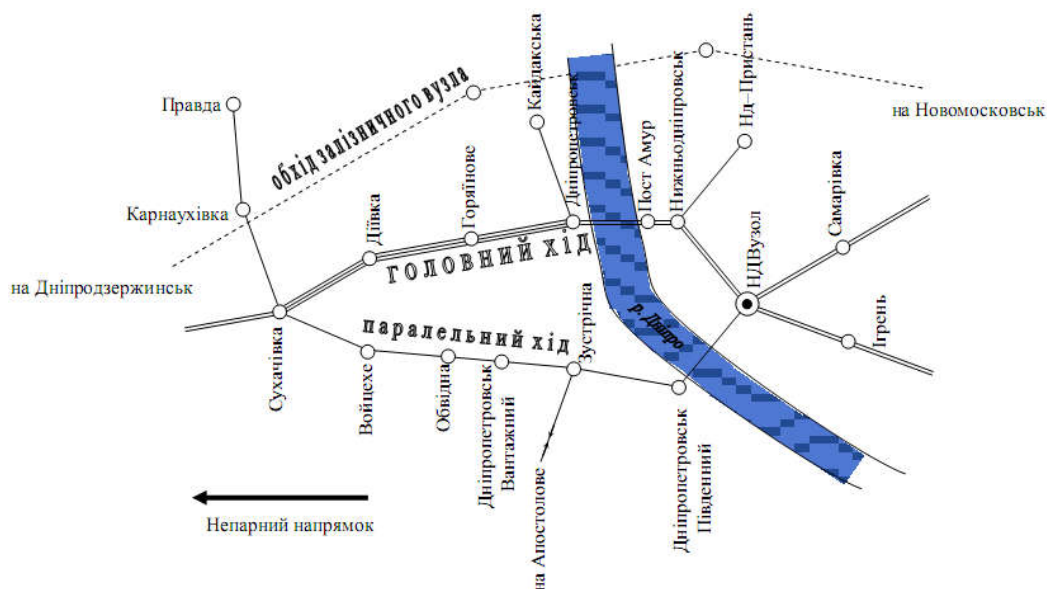


Рис. 2.1 - Схема Залізничного вузла Д.

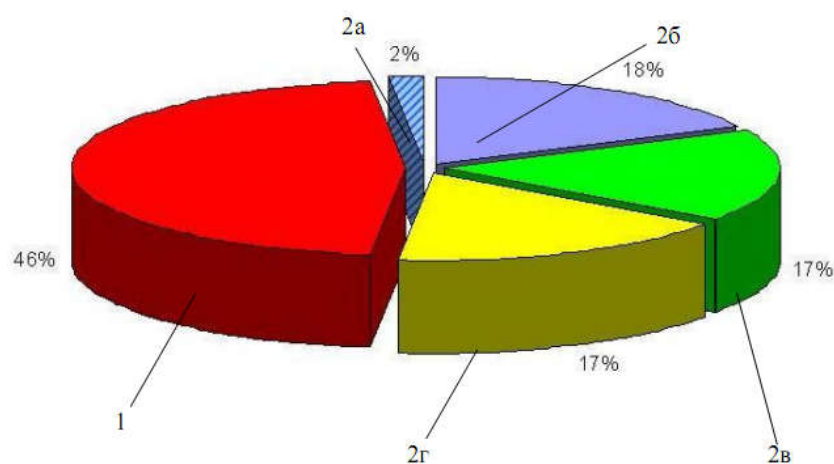


Рис. 2.2 - Діаграма розподілу поїздопотоків залізничного вузла Д. по категоріям: 1 - пасажирські поїзди; 2 - вантажні, в т.ч.: а) передаточні; б) транзитні; в) в розформування; г) свого формування

Передаточні поїзди курсують тільки між тими станціями вузла, на яких виконуються незначні обсяги вантажної роботи. Зміна станцій навантаження-розвантаження місцевого вантажу при дослідженні не розглядалася. Тому перерозподіл вантажного поїздопотоків можливий для транзитних вантажних поїздів, поїздів у розформування та свого формування. Як показав аналіз, ці категорії поїздів загалом складають 52 % від загального поїздопотоків вузла,

тобто більшу частину поїздопоток. Статистичні характеристики таких категорій поїздів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Числові характеристики випадкової величини поїздопоток залізничного вузла Д. по категоріям

Напрямок	Характеристики	Математичне очікування	Дисперсія	Коефіцієнт варіації
	Категорії поїздів			
Парний	Транзитні	33,3	33,9	0,17
	В розформування	26,7	26,7	0,19
	Свого формування	23,3	21,8	0,20
Непарний	Транзитні	27,7	29,8	0,20
	В розформування	33,3	40,8	0,19
	Свого формування	33,9	43,1	0,19

Існує два маршрути пропуску таких поїздів: через станцію Д. (головний хід) та через станцію Д.-Півд. (паралельний хід). Діаграму розподілу загального поїздопоток вузла по різних ходах наведено на рис. 2.3.

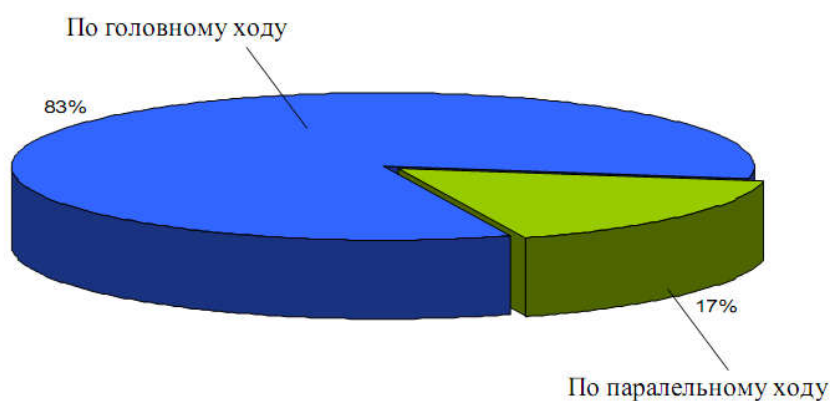


Рис. 2.3 - Діаграма розподілу загального поїздопоток залізничного вузла Д. на паралельних ходах

Як видно з діаграми, розподіл поїздопоток є досить нерівномірним. Більша частина поїздів пропускається по головному ходу, тобто по двокільній

дільниці з триколієюю вставкою. Крім того, величина поїздопотіку по цим двох маршрутах у парному і непарному напрямках суттєво відрізняється. На рис. 2.4 наведено діаграми розподілу поїздопотіку у вузлі по напрямках.

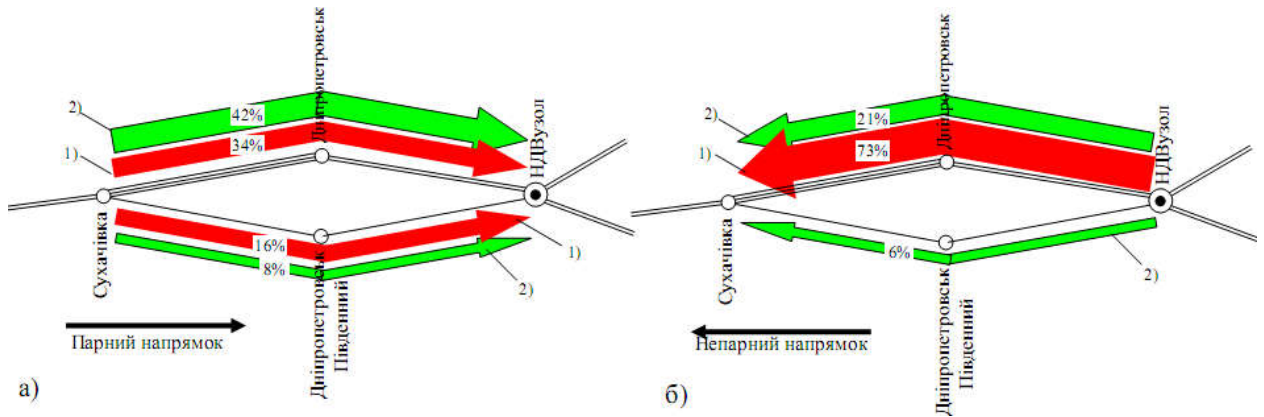


Рис. 2.4 - Діаграма розподілу поїздопотіку залізничного вузла Д. по напрямках: а) у парному напрямку; б) у непарному напрямку. Умовні позначення: 1) вантажний потік; 2) пасажирський потік

Кількість поїздів, які щодоби проходять Д.-залізничний вузол, не є постійною величиною. Ця величина коливається у межах від 84 до 155 поїздів за добу з коефіцієнтом варіації 0,1. Гістограма розподілу випадкової величини інтенсивності поїздопотіку наведена на рис. 2.5.

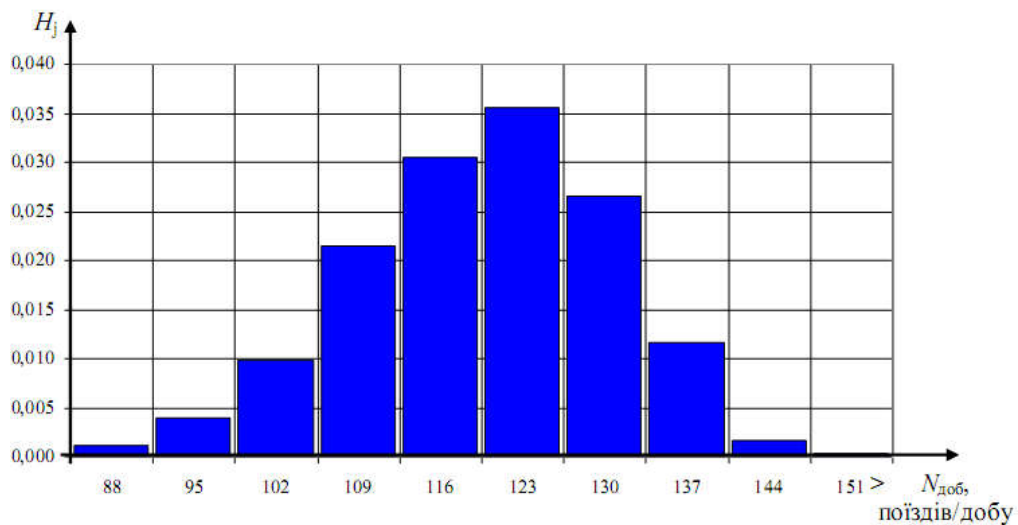


Рис. 2.5 - Гістограма розподілу величини поїздопотіку Залізничного вузла Д.

На рис. 2.6 наведено гістограму розподілу випадкової величини кількості транзитних поїздів, які надходять відповідно з непарного та парного напрямків.

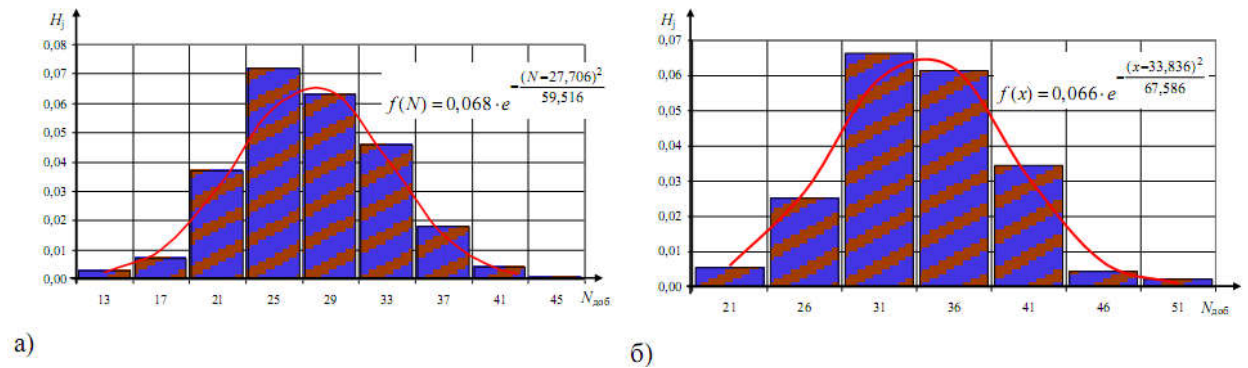


Рис. 2.6 - Гістограма розподілу кількості транзитних поїздів за добу: а) непарного напрямку; б) парного напрямку

Також виконано аналіз параметрів поїздопотоків з переробкою (рис. 2.7).

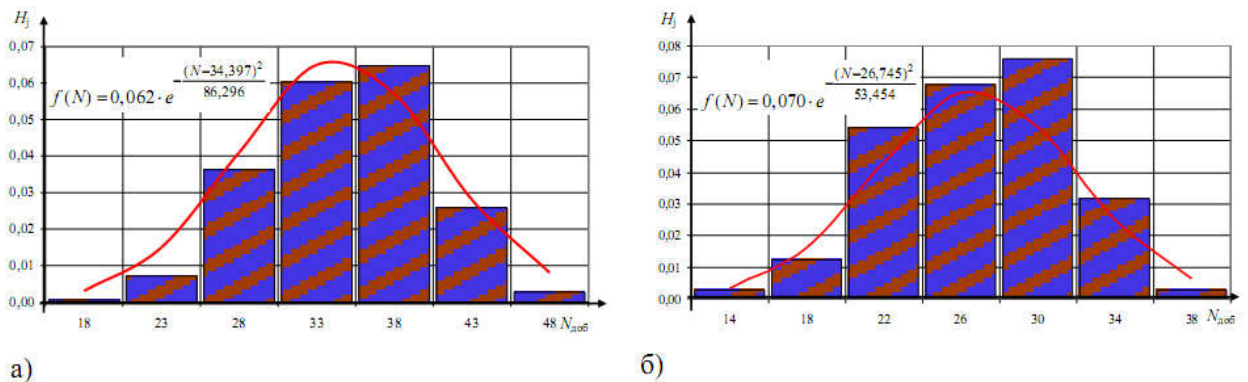


Рис. 2.7 - Аналіз параметрів розподілу поїздопотоків з переробкою: а) свого формування непарного напрямку; б) в розформування парного напрямку

Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини кількості поїздів не суперечить статистичним даним, див. табл. 2.2.

Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової
величини кількості поїздів

Напрямок	Категорія	Функція розподілу, $f(N)$	Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу за критерієм Пірсона		
			χ^2_p	$\chi^2_{\text{табл}}$	підтвердження гіпотези
Парний	транзитні	$f(N) = 0,066 \cdot e^{-\frac{(N-33,836)^2}{67,586}}$	10,787	12,017	+
	в розформування	$f(N) = 0,070 \cdot e^{-\frac{(N-26,745)^2}{53,454}}$	10,936	12,017	+
Непарний	транзитні	$f(N) = 0,068 \cdot e^{-\frac{(N-27,706)^2}{59,516}}$	6,908	10,645	+
	свого формування	$f(N) = 0,062 \cdot e^{-\frac{(N-34,397)^2}{86,296}}$	11,155	12,017	+

Інтенсивність вхідного поїздопотоку характеризується середньою величиною інтервалу їх надходження. Гістограми розподілу інтервалів між поїздами, що надходять відповідно з парного і непарного напрямків, наведені на рис. 2.8.

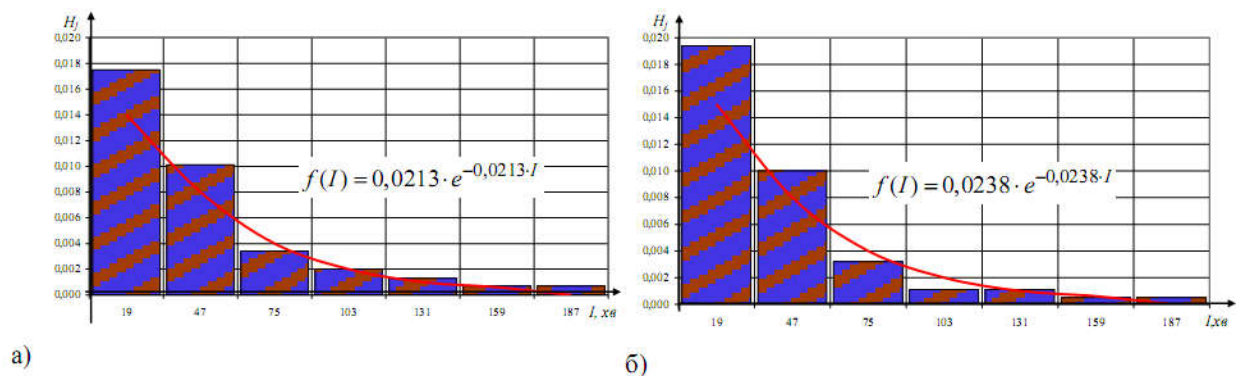


Рис. 2.8 - Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу між поїздами: а) непарного напрямку; б) парного напрямку

За характером розподілу висунута гіпотеза про те, що інтервали між поїздами розподілені за законом Ерланга з параметром K . Перевірка гіпотези про

закон розподілу випадкових величин інтервалів виконана за допомогою критерію згоди Пірсона [14]. Статистична обробка результатів спостережень, а також перевірка гіпотези за критерієм Пірсона показала, що немає підстав відхиляти гіпотезу про розподіл інтервалів між поїздами за законом Ерланга ($X_{2p} < X_{2табл}$; $4,78 < 7,78$; $2,64 < 7,78$). Результати статистичної обробки інтервалів вхідних поїздопотоків наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Результати статистичної обробки інтервалів вхідних поїздопотоків

№ п/п	Напрямок	Параметри вхідного поїздопотoku				Доля поїздів даної категорії		
		$M[L]$	K	I_{min}	$\sigma[L]$	у роз-формування	транзитні	пасажирські
1	Парний (зі станції Сухачівка)	42,06	1	6	35,27	0,24	0,20	0,56
2	Непарний (зі станцій Самарівка та Ігрень)	47,00	1	6	38,84	0,38	0,27	0,35

При аналізі параметрів розподілу поїздопотоків у Д.-залізничному вузлі [28] виявлено, що розподіл поїздів на паралельних ходах вузла має нерівномірний характер: 76 % проти 24 % у парному напрямку та 94 % проти 6 % у непарному напрямку. Виконано аналіз інтенсивності вхідного потоку поїздів та встановлено, що інтервали між поїздами мають показниковий розподіл. Встановлено, що кількість поїздів розподілено за нормальними законами, отримано диференційні функції розподілу поїздопотоків. Знання характеру розподілу поїздів дозволить виконати техніко-економічні розрахунки з визначення раціональних варіантів перерозподілу поїздопотоків

у Д.-залізничному вузлі, а також визначити економічний ефект, що пов'язаний зі зменшенням експлуатаційних витрат на пропуск поїздів.

2.3 Аналіз параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках

Дослідження, що стосуються параметрів поїздів та їх потоків, виконані на двох залізничних напрямках, що суттєво відрізняються характером поїздопотоків. Виявилось, що обсяги вантажних поїздопотоків на протязі року мають періодичний характер із виглядом синусоїдальної функції (рис. 2.9), і коливаються в межах 10-20% від свого математичного очікування 118 поїздів в обох напрямках на добу із аналогічною формою по категоріям у вузлах для вантажонапруженого напрямку.

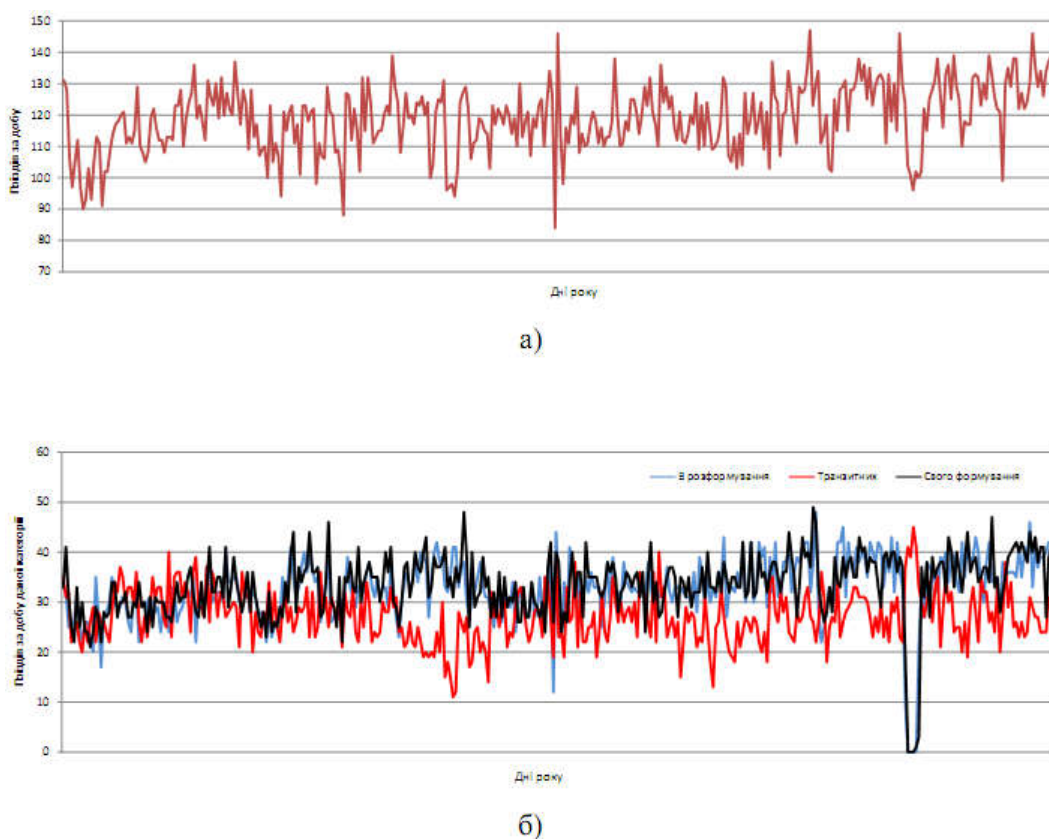


Рис. 2.9 - Характеристика обсягів вантажних поїздопотоків на залізничному вузлі Д.

Так, для станції Н.-Вузол кількість поїздів, що надходять в розформування, свого формування та транзитних мають практично однаковий діапазон коливань в межах 20-45 поїздів на добу із нормальним законом розподілу (рис. 2.10).

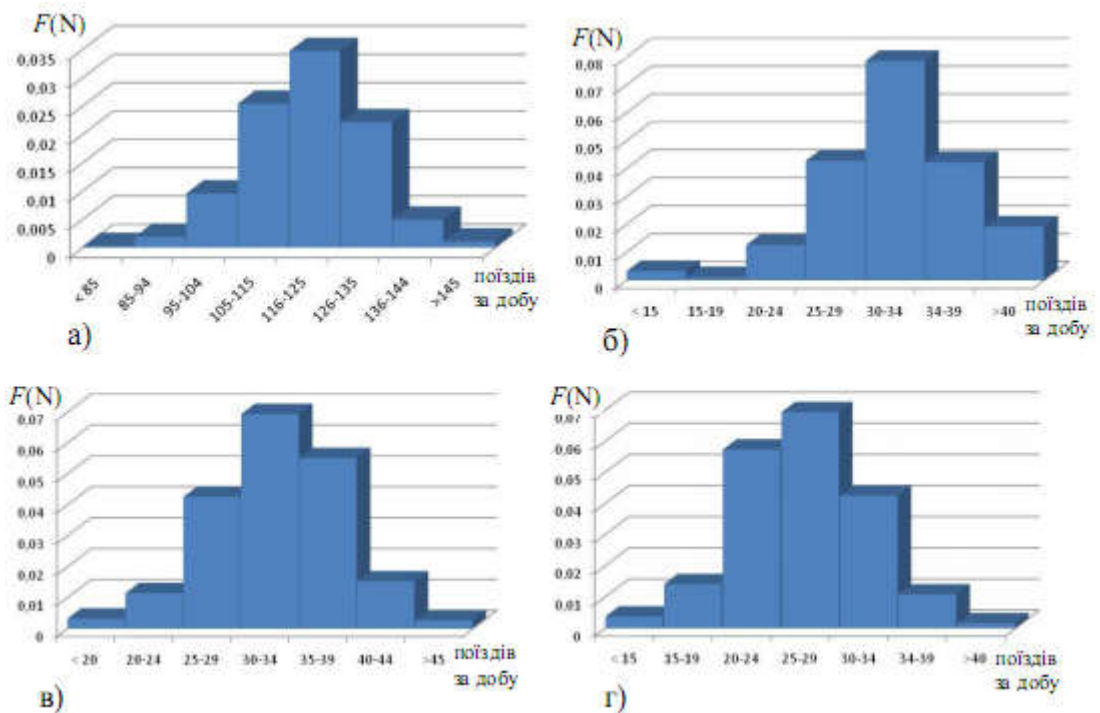


Рис. 2.10 - Розподіл випадкової величини кількості поїздів по категоріям, що надходять на станцію за добу: а) разом поїздів; б) поїздів у розформування; в) транзитних поїздів; г) поїздів свого формування

На основі виконаного аналізу отримано функції розподілу кількості поїздів різних категорій, що прямують по напрямку, в розрізі опорної сортувальної станції. Випадкова величина інтервалів між вантажними поїздами в потоці для транзитних дільниць напрямків розподілена за законом Ерланга із параметром $k=1$ (рис. 2.11). Чим ближче проводити аналіз розподілу інтервалів між поїздами до сортувальних станцій, тим меншим стає статистичне значення коефіцієнту варіації інтервалів V (зменшується від 0,9-0,93 до 0,6-0,7).

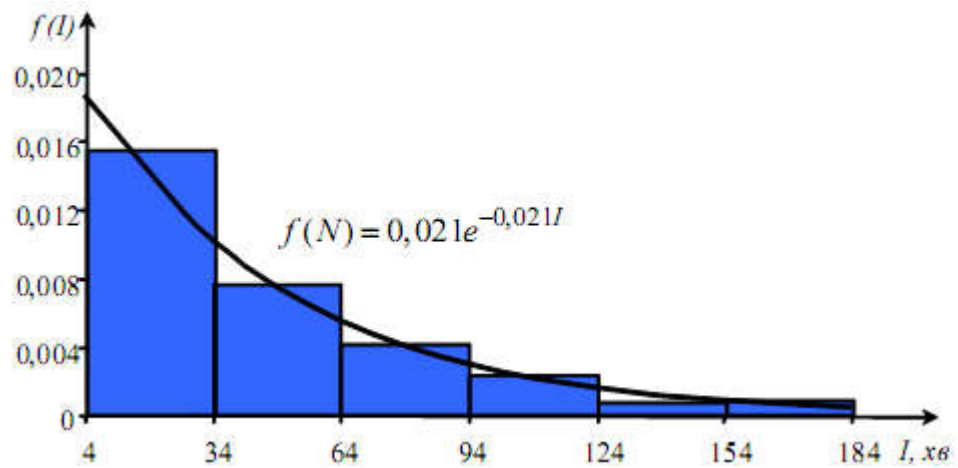


Рис. 2.11 - Розподіл випадкової величини інтервалів між поїздами в потоці

При вивченні інтервалів між одиницями потоку поїздів на залізничних дільницях, де на кінцевих станціях локомотиви прямують завжди по обороту, існує взаємозв'язок між парними та непарними потоками. Він пояснюється технологією роботи залізниць, в якій на локомотивних та дорожніх диспетчерів покладено функцію узгодження ниток графіку парних та непарних потоків для мінімізації простою поїздів в очікуванні локомотивів і локомотивів в очікуванні поїздів на станціях обороту локомотивів. Для станції П.-Стикова було вивчено характер випадкової величини простою локомотивів по обороту. Виявилось, що простій розподілений за законом Ерланга з математичним очікуванням $M[\tau]=102$ хв та коефіцієнтом Ерланга $k=5$. (рис 2.12).

Тому, при моделюванні потоків поїздів пропонується спочатку моделювати, наприклад, парний потік за показниковим законом розподілу, а потім до моментів прибуття парних поїздів на кінцеву станцію (або до їх математичних очікувань) прив'язувати моменти відправлення непарних поїздів з інтервалами, розподіленими за законом відповідним до закону простою локомотивів по обороту.

Параметри поїздів як одиниць потоку можуть суттєво відрізнятися в залежності від напрямку руху. На переважній більшості існуючих залізничних

напрямків масових перевезень можна виділити переважно вантажний напрямок та переважно порожній напрямок руху вагонопотоків. Це пояснюється структурою вантажопотоку і породжує окрему категорію порожніх поїздів в потоці.

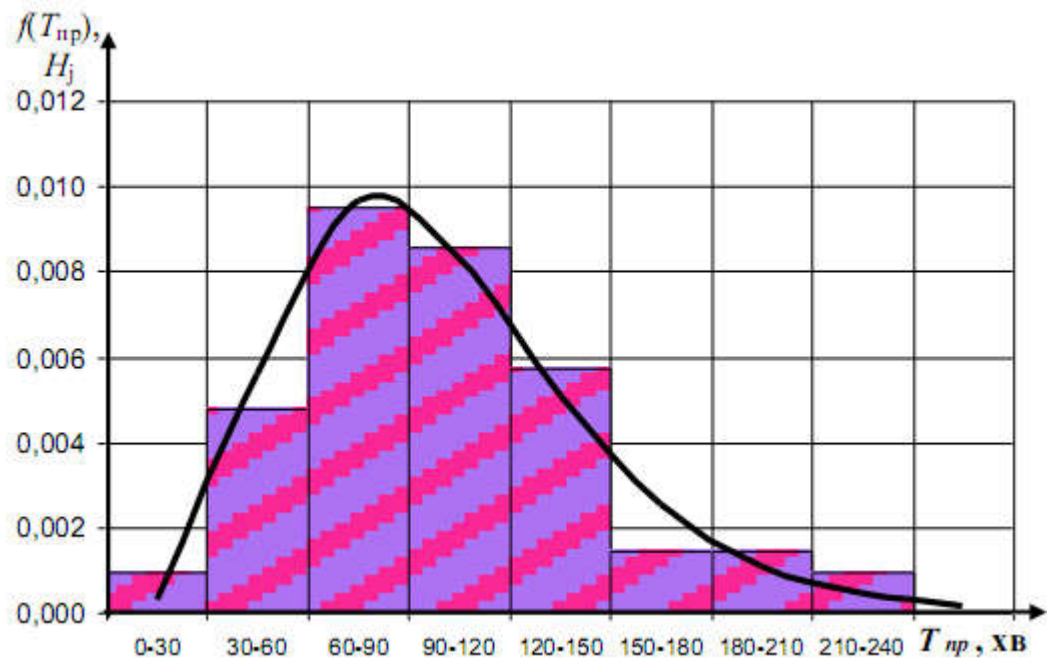


Рис. 2.12 - Розподіл випадкової величини простою поїздів в очікуванні локомотивів по станції П.-С.

На переважно вантажному напрямку маса поїздів має нормальний закон розподілу (рис. 2.13) із математичним очікуванням $M[Q]=4770$ т та середньоквадратичними відхиленням $\theta[Q]=290$ т і $\theta[QKp]=580$ т для вищезазначених напрямків. У порожньому напрямку при аналізі поїздопотоку необхідно розділити порожні та навантажені поїзди із відповідною для напрямку пропорцією.

Довжина составів транзитних поїздів вантажонапруженого напрямку коливається в широких межах від 20 до 100 умовних вагонів або 280-1400 м. Розподіл цієї випадкової величини представлено на рис. 2.15. Нижня частина розподілу досягається місцевими поїздами (вивізними та збірними), верхня частина - порожніми поїздопотоками.

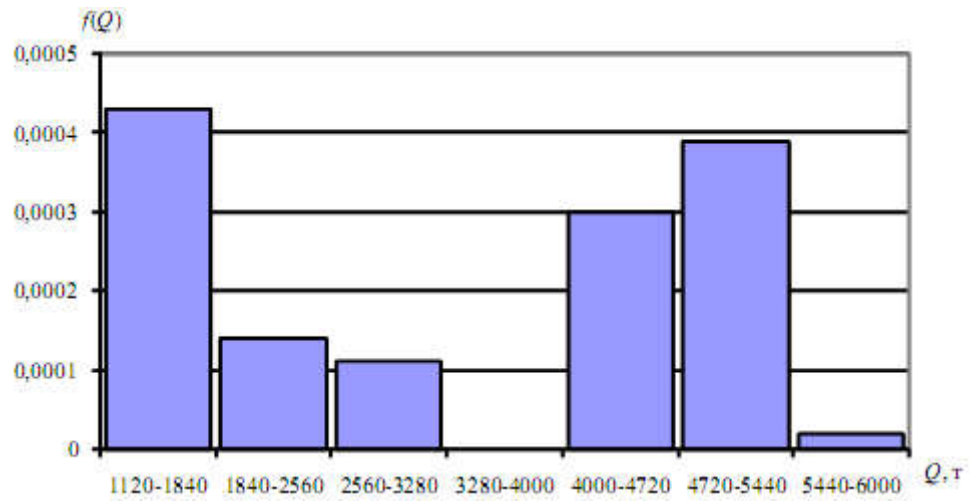


Рис. 2.13 - Розподіл маси поїздів для потоків парного та непарного напрямку

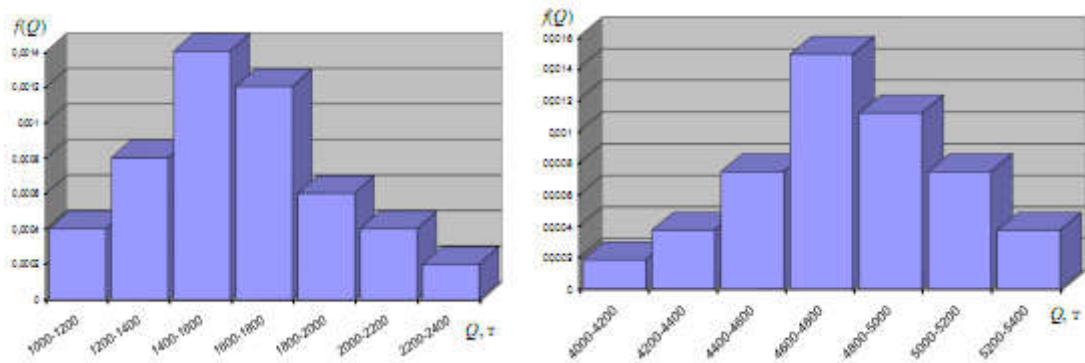


Рис. 2.14 - Розподіл маси поїздів порожнього та навантаженого потоків

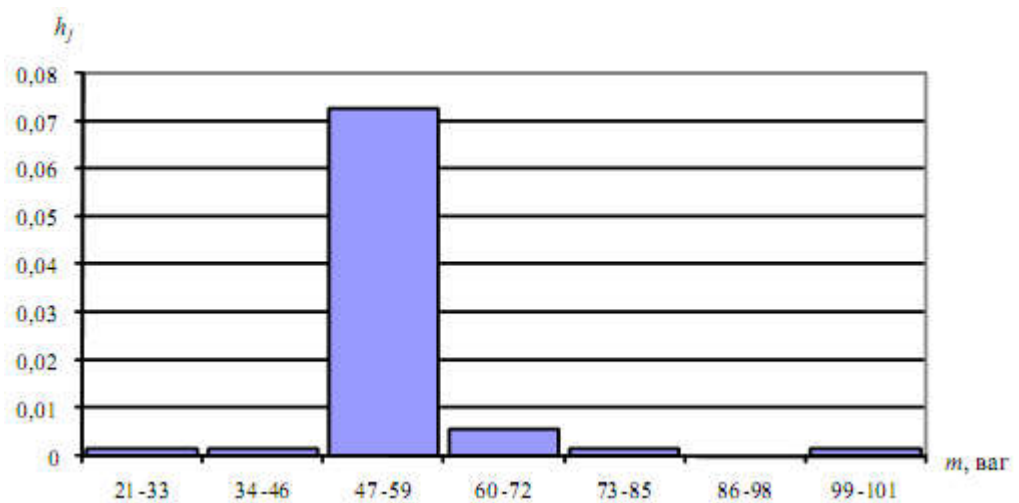


Рис. 2.15 - Гістограма розподілу випадкової величини довжини поїздів

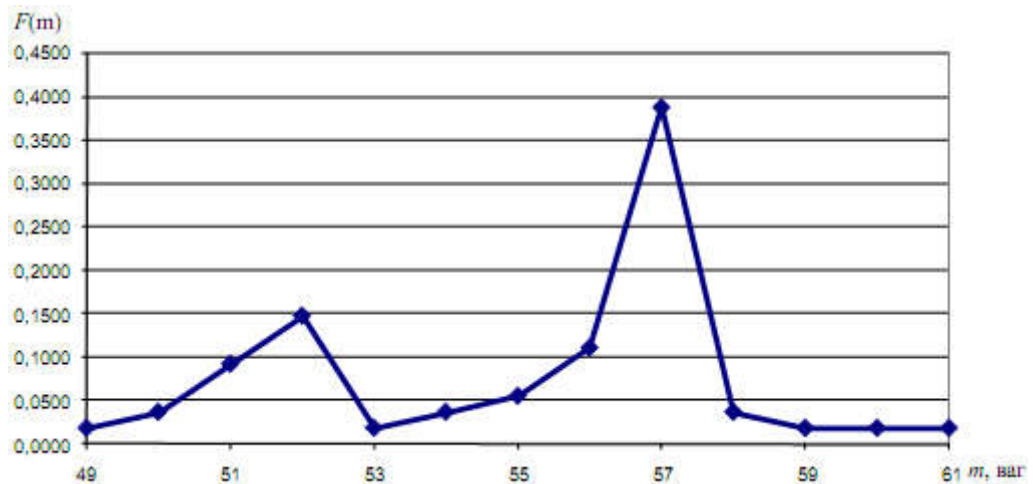


Рис. 2.16 – Гістограма розподілу випадкової величини найбільш ймовірної довжини поїздів

Як показує аналіз, 39 % транзитних поїздів мають стандартну довжину прийнятих на напрямку, 9 % поїздів прямують підвищеної довжини і 52 % поїздів мають запас для збільшення довжини. Це пояснюється тим, що частина з Довжина составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку коливається в межах від 47 до 71 вагону. Розподіл цієї випадкової величини представлено на рис. 2.17 а). Цей поїздопотік має як стандартну довжину прийнятих на напрямку составів (до 57 вагонів), так і практично рівноймовірнісні відхилення довжини від стандарту).

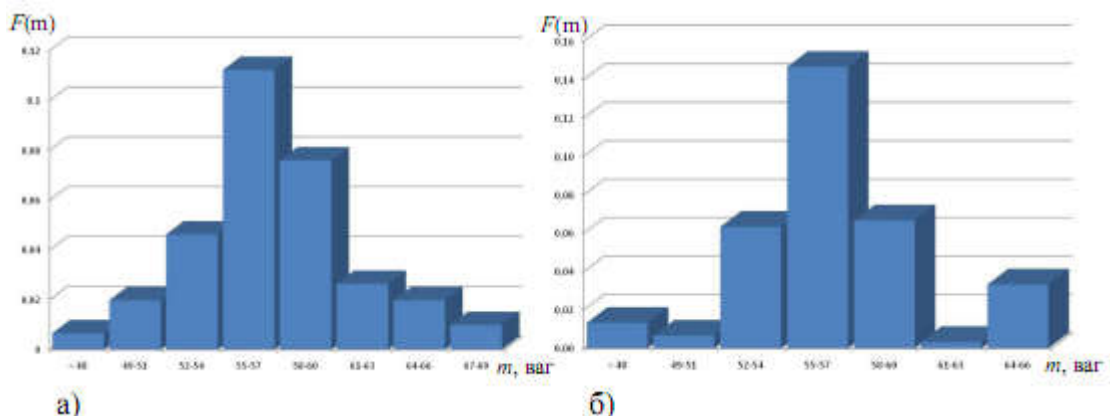


Рис. 2.17 - Гістограма розподілу випадкової величини довжини составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку

Аналіз розподілу довжини поїздів, показує, що вона є випадковою величиною із нормальним законом розподілу. Що стосується парного, менш завантаженого напрямку, то розподіл його випадкової величини є нормальним, якщо відкинути порожні подовжені состави (вони складають 10-15% на практиці - рис. 2.17 б). Тут спостерігається два піки: більшість поїздів прямує стандартної довжини 57 умовних вагонів та подовженою з порожніми поїздопотоками довжиною 64-66 вагонів.

В результаті аналізу структури поїздопотоків вантажних поїздів [10-11] було визначено, що 90% усіх составів складається із завантаженого вагонопотоку див. рис. 2.18 а), і по 5% змішаного та порожнього вагонопотоків для переважно вантажного напрямку. Середньостатистична кількість порожніх вагонів при цьому складала 10 ваг/сост із дисперсією 12 (ваг/сост) .

В зворотному напрямку переважає вже порожній вагонопотік (близько 50 %), а на інших проміжках можлива кількість порожніх вагонів у составах поїздів рівноймовірна - рис. 2.18 б).

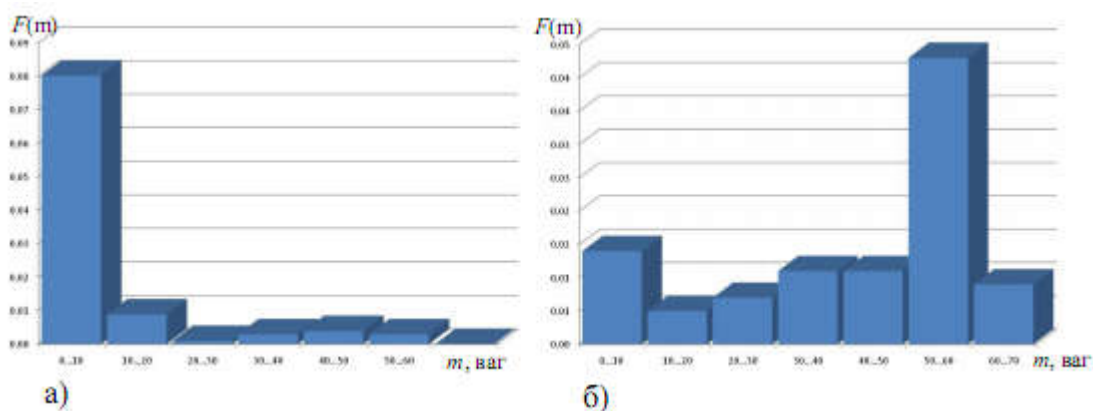


Рис. 2.18 - Гістограма розподілу випадкової величини кількості порожніх вагонів у составах поїздів: а) вантажонапружений напрямок; б) переважно порожній напрямок

Для визначення параметрів розподілу випадкової величини довжини приймально-відправних колій станцій на залізничній ділянці на підставі

аналізу колійного розвитку станцій зроблена вибірка 148 значень довжин приймально-відправних колій та виконано її статистичну обробку.

Умовна довжина приймально-відправних колій станцій ділянки (I), являє собою випадкову величину дискретного типу. Для визначення статистичних характеристик її розподілу з наведених даних, що наведені у додатку П, вибирається найменше I_{\min} та найбільше I_{\max} значення і далі складається статистичний ряд розподілу I у вигляді табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Статистичний ряд розподілу та визначення числових характеристик випадкової величини I

Номери розрядів	$I_{a(j)} \div I_{b(j)}$	$\bar{I}_j, \text{хв}$	K_j	B_j	$I_j B_j$	$\bar{I}_j^2 B_j$	h_j
1	40 - 43	41,5	2	0,014	0,561	23,274	0,0045
2	44 - 47	45,5	4	0,027	1,230	55,953	0,0090
3	48 - 51	49,5	12	0,081	4,014	198,669	0,0270
4	52 - 55	53,5	17	0,115	6,145	328,772	0,0383
5	56 - 59	57,5	37	0,250	14,375	826,563	0,0833
6	60 - 63	61,5	46	0,311	19,115	1175,564	0,1036
7	64 - 67	65,5	13	0,088	5,753	376,846	0,0293
8	68 та >	69,5	17	0,115	7,983	554,826	0,0383
ВСЬОГО			148	1	59,176	3540,466	-

За даними табл. 2.4 розраховуються параметри розподілу кількості вагонів у складі поїзда.

Для наочності статистичний ряд подається у графічному вигляді (рис. 2.19).

Таким чином, побудовано статистичний ряд випадкової величини умовної довжини приймально-відправних колій станцій залізничної ділянки (I). Встановлено, що математичне очікування величини I становить 59,18 ваг і розраховано ймовірність появи довжини приймально-відправної колії більшу за 60 умовних вагонів.

Аналізуючи довжину приймально-відправних колій станцій кримського напрямку, можна зазначити, що в експлуатаційній роботі є проблеми із зупинкою поїздів довжиною більше за 61 ум. ваг., тому вони формуються

виключно коли диспетчер має можливість без зупинного пропуску довгосоставного поїзду між вузловими станціями напрямку.

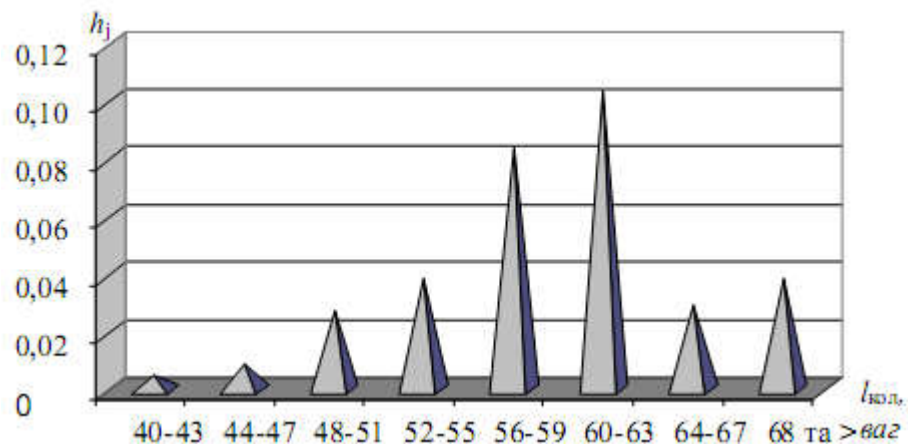


Рис. 2.19. Гістограма розподілення випадкової величини l

Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів (рис. 2.20). Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку. Функціональний зв'язок між масою та довжиною поїздів встановлено методом мінімальних квадратів. Суть його полягає у знаходженні такої функції $Q=f(m)$, яка б найкращим чином описувала поле точок (m, Q) .

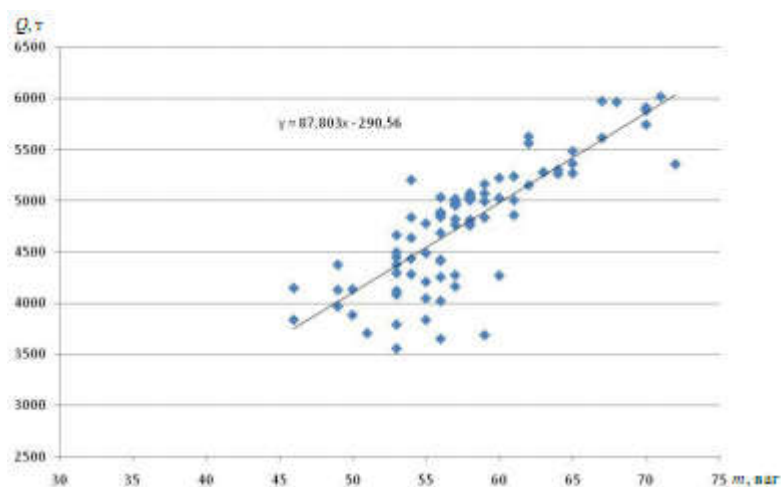


Рис. 2.20 – Поле точок $N(m;Q)$

2.4 Загальна структура імітаційної моделі роботи залізничного напрямку

Відомо, що в умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту важливим фактором забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є адаптація технології до обсягів та структури вантажопотоків та вимог ринку транспортних послуг. Головними критеріями, що визначають вибір виду транспорту для переміщення вантажів, є вартість та тривалість перевезення. Ці критерії є суперечливими і покращення одного з них найчастіше призводить до погіршення іншого. З метою оцінки критеріїв роботи залізниць як функції параметрів поїздопотоків побудовано імітаційну модель залізничного напрямку.

Для мінімізації часу знаходження вагонів на станціях та під час переміщення, залізничні станції та дільниці повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для погашення пікових навантажень, які виникають у насправді відомі моменти часу. Так, наприклад для Напрямку перевезень К., таким періодом є червень - серпень кожного року, оскільки на цей час припадає різке збільшення пасажирського поїздопотоку і одночасно збільшуються обсяги місцевої роботи, що пов'язано із навантаженням продукції агропромислового комплексу. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати залізниці, скорочуючи витрати на утримання власної інфраструктури, які не залежать від обсягів роботи. Для рішення вказаної складної та суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка конструкції та технології роботи залізничних напрямків. Ефективним засобом аналізу та оцінки показників їх функціонування є імітаційне моделювання процесів перевезення.

Залізничний напрямок представляє собою систему масового обслуговування (СМО), підсистемами якої виступають технічні станції та дільниці. Розроблена система математичних моделей є ієрархічною і включає мікро- та макрорівні.

На мікрорівні об'єктом дослідження є процес переробки транзитних вагонопотоків та формування поїздопотоків на сортувальних і дільничних станціях напрямку. Модель технології формування поїздів дозволяє використовувати різні параметри маси та довжини. На макрорівні об'єктом дослідження виступає процес пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку, що являє собою СМО, окремими фазами якої є станції та дільниці. Тому зміна параметрів вагоно- та поїздопотоків і технології роботи впливає на завантаження залізничних об'єктів та виконавців, на міжопераційні простої та тривалість знаходження рухомого складу в окремих фазах обробки та в СМО взагалі. Суттєвий вплив ці фактори також мають і на експлуатаційні витрати. В зв'язку з цим, в дослідженнях вирішена задача побудови адекватних функціональних моделей залізничних напрямків для дослідження та оптимізації техніко-експлуатаційних показників їх роботи. Основними методами дослідження є методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів та тягові розрахунки.

Імітаційна модель залізничної станції на мікрорівні (рис. 2.21) включає універсальні моделі технологічного процесу станції (МТП), інформаційну модель (ІМ) та модель системи управління (МСУ). При цьому використовується технологія ергатичного моделювання залізничних станцій [20-21], що передбачає можливість безпосередньої участі у процесі моделювання особи, яка приймає рішення (ОПР), для виконання функцій маневрового диспетчера, або чергового по станції.

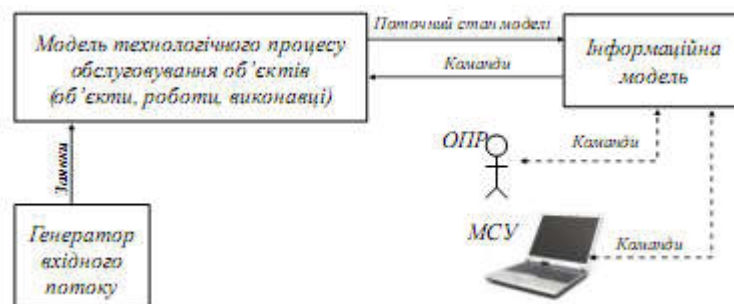


Рис. 2.21 Загальна структура імітаційної моделі технічної станції

Альтернативою ергатичному моделюванню є модель системи управління, що передбачає усі можливі сценарії технології роботи об'єкту.

Отримані у другому розділі закони розподілу маси поїздів, параметрів потоку використані для побудови імітаційної моделі залізничного напрямку на макрорівні досліджень. До її складу входять модель технологічного процесу обслуговування об'єктів (МТП) та інформаційна модель (ІМ). Синхронізація МТП та ІМ виконується за командами системного таймера у відповідності з системним часом іс. Загальний алгоритм моделі зображено на рис. 2.22.

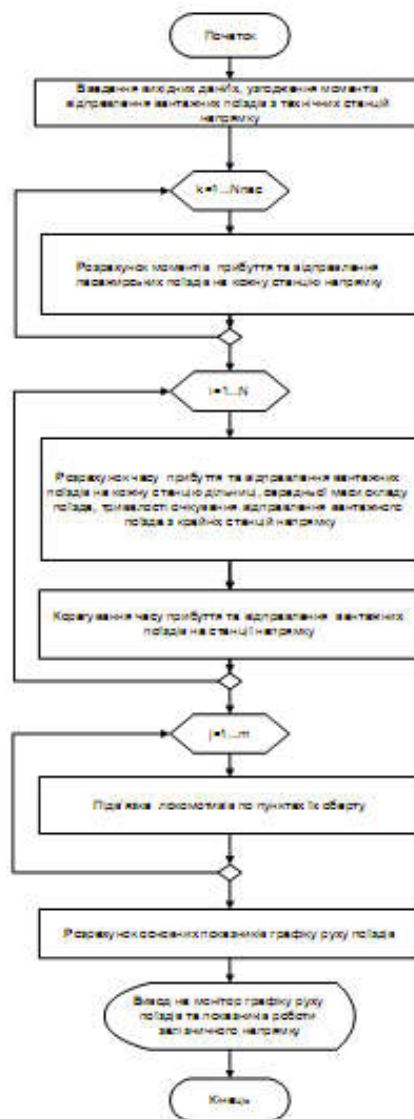


Рис. 2.22 Загальний алгоритм імітаційної моделі залізничного напрямку

В МТП залізничного напрямку вхідний потік утворюють парні та непарні поїзди, що вимагають пропуску по дільницям напрямку. Фазами обслуговування поїздів є залізничні перегони та станції, що здійснюють технологічні процеси відповідно до технології роботи дирекції залізничних перевезень та технологічних процесів роботи станцій напрямку. Тривалості обслуговування моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик заявок на обслуговування та об'єктів обслуговування.

В якості об'єктів, що обслуговуються на дільницях, розглядаються поїзди та поїзні локомотиви. Кожен об'єкт в моделі представляється структурою

$$O_j = \{I_0, a_0, P, s, n_0\}, j = 1, 2, \dots, n_0 \quad (2.1)$$

де I_0 - ідентифікатор об'єкту;

a_0 - тип об'єкту;

p - множина параметрів об'єкту;

s - поточний стан об'єкту, який визначає фазу технологічного процесу його обслуговування;

n_0 - загальна кількість об'єктів, що обслуговуються в парку.

Згідно технологічного процесу в моделі передбачено можливість поділу поїздів на состави та поїзні локомотиви, що мають різну технологію обслуговування на технічних станціях, де відбувається зміна локомотивів.

Тобто, на мікрорівні об'єктом дослідження є процес переробки транзитних вагонопотоків та формування поїздопотоків на сортувальних і дільничних станціях напрямку з різними параметрами маси та довжини. На макрорівні об'єктом дослідження виступає процес пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку, що являє собою багатофазну систему масового обслуговування (СМО), окремими фазами якої є станції та дільниці. Тому зміна параметрів поїздопотоків та технології роботи впливає на завантаження

залізничних об'єктів та виконавців, на міжопераційні прості та тривалість знаходження рухомого складу в окремих фазах обробки та в СМО в цілому. Суттєвий вплив цих факторів також має і на експлуатаційні витрати. В зв'язку з цим у роботі вирішена задача побудови адекватних функціональних моделей залізничних напрямків для прогнозування та оптимізації техніко-експлуатаційних показників їх роботи.

2.5 Модель технічної станції

Імітаційна модель залізничної станції на мікрорівні включає моделі технологічного процесу станції (МТП), інформаційну модель (ІМ) та модель системи управління (МСУ). При цьому використана технологія ергатичного моделювання залізничних станцій, що передбачає можливість безпосередньої участі у процесі моделювання особи, яка приймає рішення, для виконання функцій маневрового диспетчера, або чергового по станції.

В якості об'єктів, що обробляються на станції розглядаються поїзди, локомотиви, маневрові состави та состави, що накопичуються на сортувальних коліях. Приклад опису об'єкту «Пасажирський поїзд» представлений на рис. 2.23.

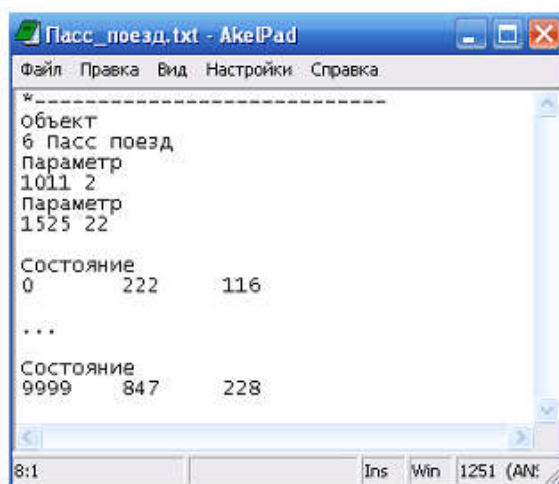


Рис. 2.23 Об'єкт «Пасажирський поїзд» в моделі

Альтернативою ергатичному моделюванню є модель системи управління, що передбачає усі можливі сценарії технології роботи об'єкту. За основу МТП станції прийнята модель, в якій станція розглядається як багатофазна, багатоканальна, керована СМО. Фазами обслуговування є окремі технологічні операції, які виконуються в певній послідовності відповідно до технологічного процесу (ТП). Тривалості цих операцій моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкту. Обслуговуючими пристроями є виконавці технологічних операцій. ТП обслуговування об'єктів кожної категорії формалізований на основі відповідного скінченного автомата (СА). На рис. 2.24 показано приклад формалізації технологічного процесу формування составів на технічній станції. Об'єкт послідовно проходить фази ТП, займаючи та звільнюючи виконавців.

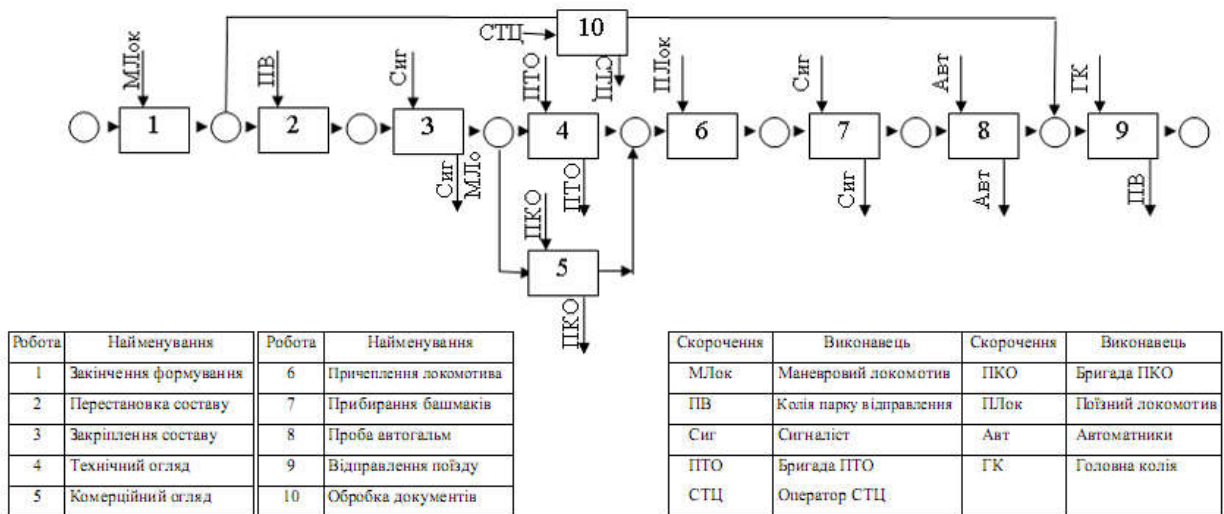


Рис. 2.24 Формалізація технологічного процесу формування составів на основі СА

Інформаційна модель являє собою зображення добового плану-графіка станції на часовій сітці. Вона призначена для надання ОПР інформації про поточний стан технологічного процесу, а також для сприйняття від ОПР керуючих команд і передачі їх в МТП.

Для побудови сітки добового плану-графіка готується спеціальний файл даних, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.25.

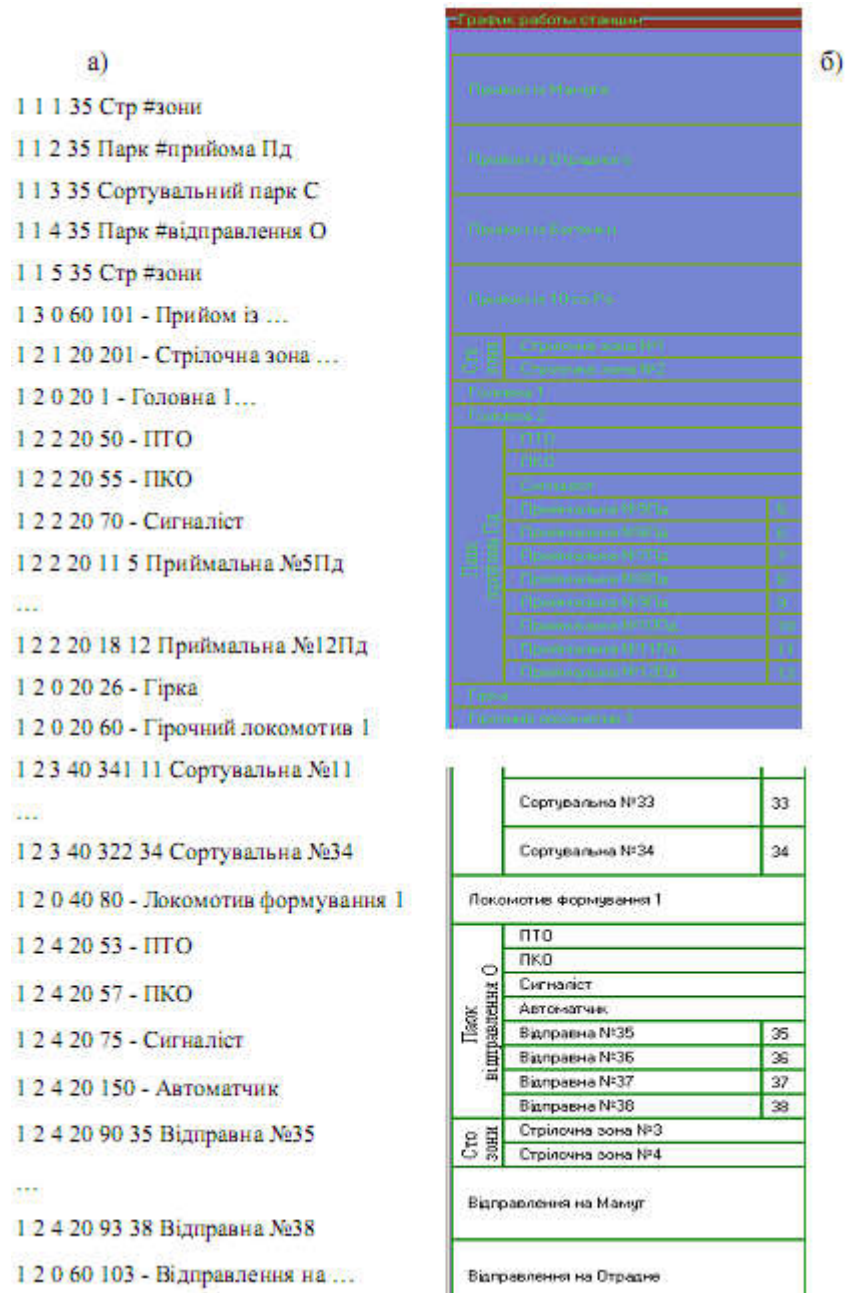


Рис. 2.25 Формування сітки добового план-графіка

а) код вихідного файлу; б) вигляд сітки в інформаційній моделі

Окремі виконавці робіт $E_r \in E, r=1, 2 \dots n_v$ в моделі відповідають рядкам добового графіка. При цьому кожен виконавець представляється у вигляді структури

$$E_r = \{N_e, \mathbf{D}, c, w, a\}, \quad (2.2)$$

де N_e - назва виконавця;

\mathbf{D} - список завдань виконавця;

c - об'єкт, що обробляється виконавцем в поточний момент;

w - ширина рядка, що відповідає виконавцю;

a - показчик активності виконавця;

n_b - кількість виконавців.

Моделювання роботи станції може виконуватись як автоматично, коли порядок обслуговування встановлюється згідно з заданою системою пріоритетів, так і в інтерактивному режимі, коли цей порядок визначає ОПР. Керування процесом моделювання виконується ОПР за допомогою спеціальних елементів управління: команд меню, кнопок, полів завдань виконавців та лінії межі часу моделювання (рис. 2.26 а-б).

Основою МТП на макрорівні є модель, в якій залізничний напрямок розглядається як багатоканальна багатофазна СМО. Фазами обслуговування поїздів є залізничні перегони та станції. Тривалості обслуговування моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик заявок на обслуговування та об'єктів обслуговування. В якості вихідних даних використовувались графік руху пасажирських поїздів, визначені у другому розділі закони розподілу випадкової величин інтервалів між вантажними поїздами в потоці, кількості вагонів у складі вантажних поїздів та їх маси, відстань між сусідніми станціями напрямку, профіль та план колії перегонів та головних колій станцій, колійний розвиток роздільних пунктів, існуючі локомотиви та їх характеристика.

Вхідний потік вантажних поїздів співпадає з вихідним потоком моделей залізничних станцій початкової та кінцевої вершини напрямку та характеризується певною структурою.

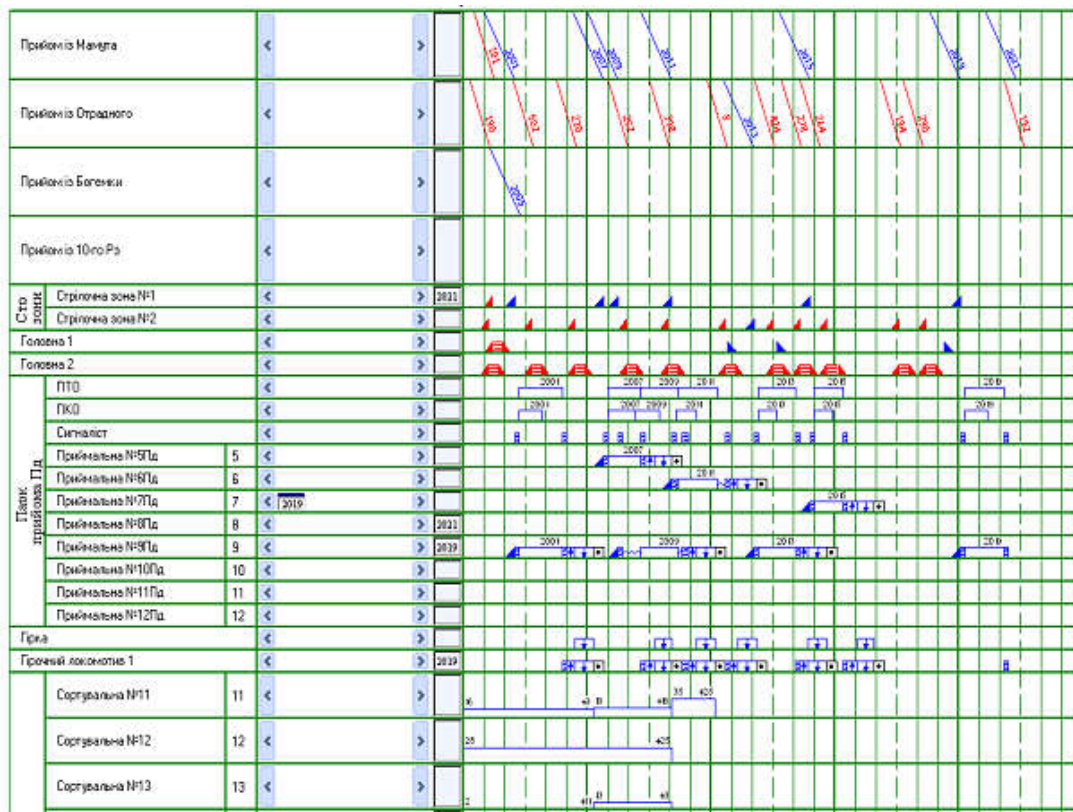


Рис. 2.26 а) загальний вигляд інформаційної моделі станції

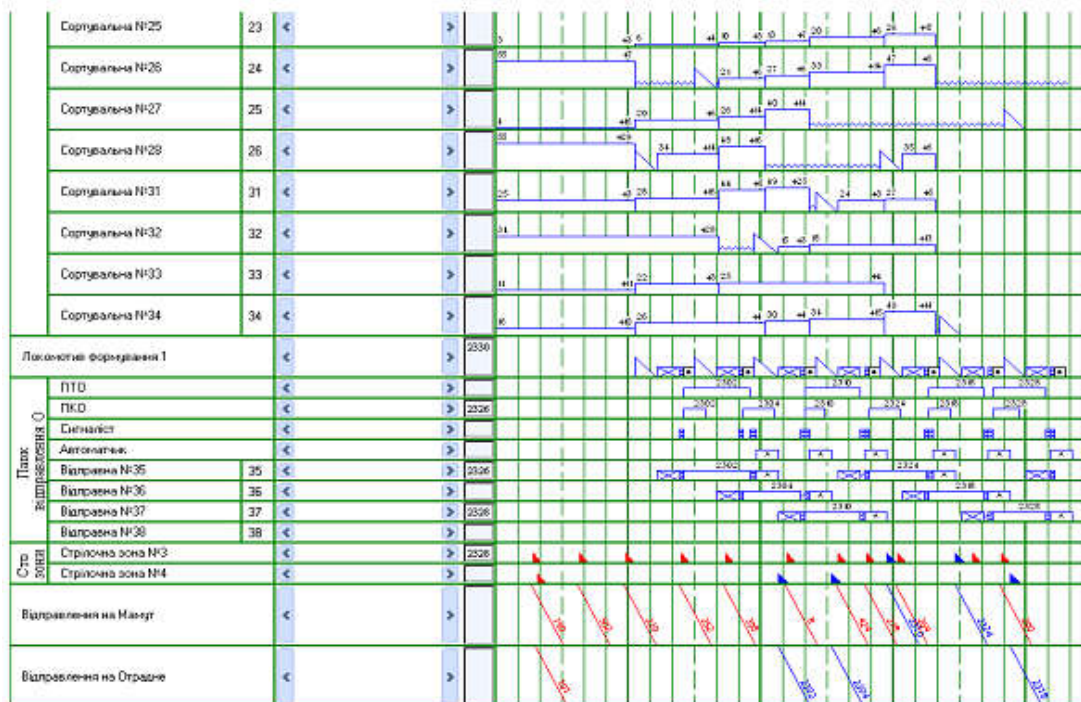


Рис. 2.26 б) загальний вигляд інформаційної моделі станції:

а) фрагмент підсистеми розформування сортувальної станції;

б) фрагмент підсистеми розформування сортувальної станції

В модель надаються моменти надходження та параметри поїздів, їх номери-ідентифікатори та підходи надходження. Момент прибуття вантажних поїздів на станцію визначається за формулою $T_i = T_{i-1} + t_i$, де t_i – інтервал між поїздами, $T_0 = 0$. Значення t_i моделюються окремо для кожного підходу станції за модифікованим розподілом Ерланга за допомогою виразу

$$t_i = \frac{I_{\min} - M[t]}{k} \ln \prod_{i=1}^k r_i + I_{\min}, \quad (2.3)$$

де I_{\min} – мінімальний інтервал між поїздами, що встановлюється вимогами автоблокування; r – випадкове число, що рівномірно розподілене в інтервалі $[0, 1]$.

Для імітації процесу руху поїздів проведені дослідження з використанням методу тягових розрахунків. В результаті експериментів з масою поїздів в межах 1000...8500 т отримано енергетичні витрати і час руху поїздів на перегонах дільниць. Окремо для вантажного та порожнього потоків переглянуто 58 різних регресійних моделей $T_x = f(Q, L)$ часу ходу вантажного поїзда по перегону як функції маси Q_j і довжини L_i перегону. На основі методу найменших квадратів обрано варіант з мінімальною залишковою дисперсією:

$$T_x = 0,859 + 1,27 \cdot 10^{-4} Q_j + 8,7 \cdot 10^{-4} L_i, \text{ хв.} \quad (2.4)$$

Для перевірки адекватності отриманої залежності був проведений повний факторний експеримент із загальним видом функції відгуку

$$\hat{t} = b_0 + b_1 \cdot \tilde{X}_1 + b_2 \cdot \tilde{X}_2 + b_{12} \cdot \tilde{X}_1 \cdot \tilde{X}_2, \quad (2.5)$$

де \tilde{X}_1 та \tilde{X}_2 – рівні першого та другого факторів – маси та довжини перегону,

b_0, b_1, b_2, b_{12} – невідомі коефіцієнти. Результати розрахунків для верхніх та нижніх рівнів факторів дозволили визначити коефіцієнти функції відгуку та саму функцію

$$\hat{t} = 11.86 + 0.285 \cdot \tilde{X}_1 + 7.13 \cdot \tilde{X}_2 + 0.0005 \cdot \tilde{X}_1 \cdot \tilde{X}_2 \quad (2.6)$$

Адекватність отриманої залежності перевірено при нульових рівнях факторів: $T_o \approx \hat{t} = 11,86$ хв. Оскільки коефіцієнти b_1, b_2 додатні, то між функцією відгуку та факторами має місце прямопропорційний зв'язок. Порівнюючи розраховані коефіцієнти b_1 і b_2 між собою, можна відзначити, що значно більший вплив на функцію відгуку має другий фактор, тобто довжина перегону. Треба зазначити, що збільшення маси поїздів, наприклад, у 3 рази з 2000 т до 6000 т призводить до збільшення тривалості руху поїзда на перегоні всього на 3-5 %.

Технологічні процеси обробки об'єктів на напрямку представляють комплекс технологічних операцій g_i , кожна з яких повинна бути виконана в певному порядку перед тим як об'єкт залишить систему. В якості об'єктів, що обслуговуються на дільницях, розглядаються поїзди та поїзні локомотиви. Згідно технологічного процесу в моделі передбачено можливість поділу поїздів на состави та поїзні локомотиви, що мають різну технологію обслуговування на технічних станціях, де відбувається зміна локомотивів.

В МТП технологія пропуску поїздів представляється структурою

$$q_i = \{ I_w, I_o, p, U_q, F_q, t_q \}, i = 1, 2 \dots, n_q, \quad (2.7)$$

де I_w – ідентифікатор шаблону технологічної операції;

I_o – об'єкт з яким виконується операція;

p – множина параметрів об'єкту;

U_q – список перегонів;

F_q – список умов закінчення технологічної операції;

t_q – момент закінчення виконання технологічної операції.

Шаблони w_i містять інформацію, яка необхідна для параметризації окремих технологічних операцій q : $w_i = \{I_w, f_t, \zeta\}$, $i = 1, 2 \dots, n_w$, f_t – функція, що визначає тривалість руху поїзда по перегону; ζ – параметр, що вказує на порядок відправлення поїздів на перегон ($\zeta=1$ – поїзд займає перегін, $\zeta=0$ – поїзд зупиняється для обгону поїздом іншої категорії).

Інформаційна модель залізничного напрямку на макрорівні призначена для надання інформації про поїзний стан та для відображення показників роботи напрямку (відобразатиметься у подальших дослідженнях). Вона являє собою зображення графіку руху поїздів напрямку на часовій сітці. В пунктах обороту локомотивів їх узгодження здійснюється на основі пошуку мінімальних простоїв в очікуванні поїздів з урахуванням необхідності виконання ТО-2 та технологій роботи станцій. Цей пошук виконується за допомогою методів лінійного програмування.

2.6 Перевірка адекватності сполуки моделей мікро- та макрорівнів

Перевірка адекватності розроблених моделей виконана за допомогою критерію Уїлкоксона. W критерій Уїлкоксона - це непараметричний аналог парного критерію Стьюдента (t - критерій для залежних вибірок). Цей непараметричний критерій оснований на рангах. Принцип його наступний. Дві вибірки параметру, що досліджується, впорядковують за абсолютною величиною. Потім рангам надають знак зміни та сумують ці "знакові ранги" - в результаті отримують значення критерію Уїлкоксона W , який порівнюють із максимально допустимим відхиленням.