

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступень - магістр
спеціальність 275 – Транспортні технології
спеціалізація 275.02 – Транспортні технології (на залізничному транспорті)

на тему: «Дослідження пропускної здатності залізничної лінії для заданої кількості вантажних поїздів при реконструкції.»

Виконала: студентка групи ОПЗТ-19дм
Ялтишева А.В.

Керівник: доц. Шевченко С.І.

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

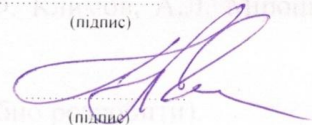
Рецензент: *Загноєнко Є.В.*



(підпис)



(підпис)



(підпис)



(підпис)

Севєродонецьк – 2021

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналіз пропускної здатності мережі залізниць	7
1.1 Аналіз досліджень в області визначення пропускної здатності ділянок залізниць	8
1.2 Аналіз досліджень пропускної здатності ділянок залізниць	11
1.3 Оцінка випадкових факторів, що впливають на зміну умов організації руху	12
1.4 Імітаційне моделювання роботи залізничних станцій	13
Висновки по розділу	16
2 Особливості імітаційного моделювання пропуску поїздів	18
2.1 Визначення границь моделювання пропуску поїздів	18
2.2 Визначення впливу надання «вікон» на збільшення тривалості стоянки поїздів	28
2.3 Визначення можливості освоєння прогнозованих обсягів перевезень	36
Висновок по розділу	40
3 Розробка імітаційної моделі пропуску поїздів	42
3.1 Розробка процедури забезпечення пропуску вантажних поїздів	42
3.2 Алгоритм визначення періодичності ремонтів залізничної колії	58
3.3 Розробка алгоритму вибору економічно доцільного варіанта	61
Висновки по розділу	68
Висновок	69
Література	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Ключовою проблемою яка виникає при визначенні пропускної здатності лінії при реконструкції є комплексна оцінка відповідності характеристик залізничної інфраструктури необхідним умовам організації руху, що враховує взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій. У загальному випадку завдання пов'язано з вибором економічно доцільних варіантів графіка надання «вікон» на ділянках і заходів щодо пропуску поїздів умовами, які конфліктують, це зниження вартості виконання ремонтних робіт, так і зниження затримок поїздів на станціях.

На практиці, обґрунтування пропускної здатності лінії в умовах ремонту залізничних ділянок здійснюється проектними організаціями приблизно, по мінімальній перевізній потужності, виходячи з паспортних даних окремо для пропускної здатності ділянок і перероблювальної спроможності технічних станцій. Вплив «вікон» на розміри руху враховується на етапі розробки варіантних графіків руху поїздів. Це не дозволяє враховувати вплив нерівномірності завантаження залізничних ділянок і технічних станцій.

Розв'язок проблеми на базі використання інструментів імітаційного моделювання утрудняється відсутністю апарата для розрахунків величини затримок на станціях в умовах взаємного впливу «вікон» при проведенні ремонтних робіт, а також обліку особливостей пропуску вантажних поїздів з різною масою і довжиною состава при розрахунках пропускної здатності залізничної лінії при реконструкції.

Крім того, сучасні інструменти імітаційного моделювання роботи лінії в умовах ремонту складових її ділянок потребують розвитку способів аналізу впливу на пропускну здатність тривалості заняття приймально-відправних шляхів станцій призначення що особливо характерно при залізничному обслуговуванні морських портів.

З метою дозволу сформованих протиріч і розвитку теорії експлуатації залізниць в області оцінки пропускної здатності залізничних ліній при

реконструкції, визначене наукове завдання, яке полягає в дослідженні пропускної здатності залізничної лінії на основі імітаційного моделювання, спрямованого на розв'язок завдання забезпечення прогнозованих розмірів руху.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є вдосконалювання оцінки пропускної здатності залізничної лінії при реконструкції. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- Обґрунтувати особливості імітаційного моделювання пропуску поїздів при оцінці пропускної здатності лінії при реконструкції;
- Розробити імітаційну модель пропуску поїздів по залізничній лінії;
- Виконати оцінку пропускної здатності залізничної лінії при реконструкції.

Об'єктом дослідження є процес організації руху поїздів при реконструкції залізничної лінії.

Предметом дослідження є методи, моделі і методики, спрямовані на розв'язок завдання оцінки пропускної здатності залізничної лінії при реконструкції.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропонований підхід до оцінки пропускної здатності залізничної лінії при реконструкції, на основі імітаційного моделювання, що враховує взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій.

Теоретична цінність дослідження полягає в розвитку теорії експлуатації залізниць в області оцінки пропускної здатності залізничних ліній при реконструкції, спрямованої на забезпечення потрібних розмірів руху поїздів по лінії.

Практична значимість роботи полягає в тому, що пропонується методика дозволяє в розрахунках пропускної здатності залізничних ліній оцінювати величину затримок від надання «вікон» при пропуску вантажних поїздів різної маси і довжини состава.

1 АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Необхідність якнайшвидшого розвитку залізничних підходів до різних об'єктів пов'язана з тим що експортний потенціал країни обмежується наявними пропускними здатностями залізниць [4]. Найбільший приріст вантажопотоків прогнозується до 2022 року, а відсутність механізму повернення інвестованих засобів позбавляє можливості використовувати приватний капітал для реконструкції і будівництва об'єктів інфраструктури на магістральних залізничних лініях.

Це викликає необхідність оптимального за часом використання обмежених власних і бюджетних коштів, для освоєння прогнозованих обсягів перевезень, у першу чергу для залізничних ліній з максимальним використанням наявної пропускної здатності.

У цей час місця що обмежують наявну пропускну здатність залізничних ліній, визначаються по Інструкції [7] у масштабі залізничних ліній по мінімальній наявній пропускній здатності ділянок і технічних станцій. У теж час необхідно точно визначити місце розташування та причини виникнення і достатність заходів для їхньої ліквідації.

Критичні тривалості стоянок поїздів на станціях і зниження швидкостей на підходах до них можуть бути викликані порушеннями в технології роботи або невідповідністю технічного оснащення залізничної лінії потрібної пропускної здатності. У першому випадку необхідне проведення організаційно-технічних заходів, а в другому – реконструктивні.

Для визначення наявності місць, що обмежують наявну пропускну здатність залізничних ліній, необхідно знати місця критичних тривалостей стоянок і зниження швидкостей на підходах до них, що визначається часом прибуття і відправлення поїздів по станціях залізничної лінії.

Однієї із проблем вибору пріоритетності заходів щодо зняття затримок у русі, є використання в якості вихідних, паспортних, а не статистичних даних про перевізну потужність залізничних ліній, що знижує точність розрахунків.

Аналіз графіка виконаного руху [6] в основному зводиться до підрахунку поїздо-хвилин запізнення по ділянках з віднесенням їх на винні дирекції, що не дозволяє визначити «вузькі місця», та обмежують наявну пропускну здатність залізничних ліній у масштабі не окремих диспетчерських дільниць, а залізничних ліній у тому числі минаючих по інфраструктурі декількох залізниць.

Тому необхідно розробити методику визначення достатності заходів що забезпечують перевищення наявної пропускну здатності реконструюємої залізничної лінії над потрібною, на основі обробки даних про критичні тривалостях стоянок поїздів на станціях, зниженні швидкостей на підходах до них і причин їх виникнення, починаючи зі станцій, з максимальними стоянками поїздів і зниження швидкостей на підходах до них. Ці дані втримуються в численних інформаційних системах залізничного транспорту [17] які слабо взаємодіють друг з другом та нерідко містять ті самі дані в різних форматах. Тому необхідно вибрати інформаційні системи які забезпечують одержання зазначених даних. Після визначення станцій критичних тривалостей стоянок поїздів і зниження швидкостей на підходах до них, необхідно визначити причини, які викликали утруднення в пропуску поїздів для розробки заходів їхнього усунення.

1.1 Аналіз досліджень в області визначення пропускну здатності ділянок залізниць

Аналіз наукових досліджень ведучих учених в області визначення пропускну здатності ділянок залізниць (Е.В. Архангельській, Н.А. Воробйов, Ю.В. Дьяков, А.Д. Каретників, Д.Ю. Левін, А.М. Макарович, А.П. Романов, і ін.), показав, що наявна пропускну здатність визначається в однакові по вазі і довжині состава розрахункових вантажних поїздах по обмежуючим перегонам, і по окремих елементах шляхового розвитку станції (парки, горловини, сортувальні і вантажні пристрої), що не дозволяє враховувати взаємний вплив

нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій на наявну пропускну здатність усієї залізничної лінії яка включає кілька залізничних ділянок і технічних станцій.

У розрахунках наявної пропускну здатності залізничної ділянки при різних швидкостях проходження вантажних і пасажирських поїздів, по аналітичних формулах, застосовують коефіцієнти, які з великої кількості впливаючих факторів ураховує тільки співвідношення швидкостей поїздів на обмежуючому перегоні. Імітаційне моделювання руху поїздів дозволяє оцінити фактичне знімання поїздів шляхом відтворення на комп'ютері технології роботи залізничних ліній.

Д. Ю. Левіним встановлено [7], що причинами відхилення реальної пропускну здатності залізничної ділянки від теоретичної є використання постійних величин у розрахунковій формулі визначення наявної пропускну здатності і відсутність обліку кількості станцій на ділянці і приймально-відправних шляхів на них, довжини і ваги поїздів, не ідентичності довжини перегонів і обгону поїздів.

Це виключає можливість визначити наявну пропускну здатність залізничної лінії при різних тривалостях заняття приймально-відправних шляхів її станції, що обмежує в умовах нерівномірності руху надання «вікон» для проведення ремонтних робіт.

У роботі [16] пропускну здатність залізничних ділянок розглядається в термінах (рис. 1.1): надійності (якість обслуговування клієнтів), комерційних зупинок, швидкості і нерівномірності руху поїздів. Розрахунки наявної пропускну здатності, засновані на теорії масового обслуговування, представлені в роботах Г.М. Кутиєва, І.М. Мартинова, Л.П. Тулупова, І.Б. Сотникова, А.В. Бикадорова також не дозволяють оцінювати наявну пропускну здатність залізничної лінії в умовах обліку характеристик потоку поїздів.

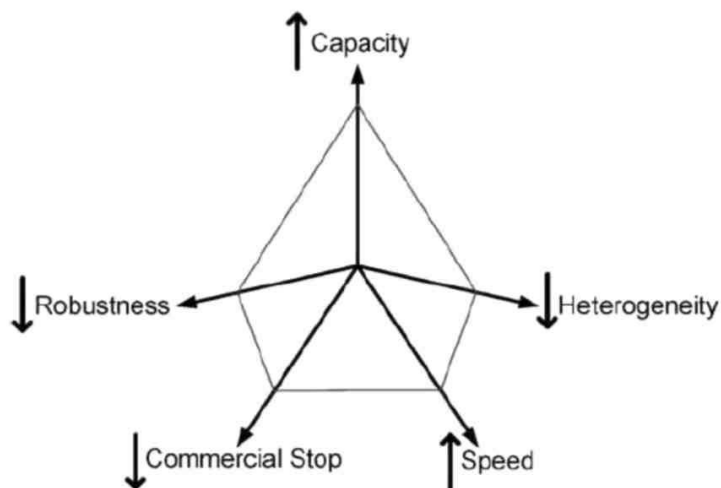


Рис. 1.1 – Основні параметри, що впливають на пропускну здатність

Освоєння прогнозованих обсягів перевезень по залізничних лініях викликає необхідність цілорічного забезпечення відповідної наявної пропускну здатності.

Проведені у зв'язку із цим планові ремонтні роботи супроводжуються наданням «вікон», що тягне закриття руху по перегінних і станційних коліях, обмеження швидкостей і пропуск робочих поїздів.

Тому у періоди проведення ремонтних робіт, фактично досяжна наявна пропускну здатність залізничних ліній знижується, що необхідно враховувати при її визначенні.

Найбільша кількість «вікон» надається шляховому підрозділу залізниць, оскільки ці складні за технологією і тривалі за часом роботи, виконуються комплексом шляхових машин і спеціальних поїздів. Роботи на інших об'єктах інфраструктури в основному виконуються під час «вікон», для шляхових робіт [43], а також під час технологічних «вікон» які передбачаються нормативними графіками руху поїздів. Тому кількість і тривалість «вікон» на тривалу перспективу пропонується визначати по їхній потребі для шляхових робіт.

1.2 Аналіз досліджень пропускної здатності ділянок залізниць

Наукові дослідження впливу «вікон» на наявну пропускну здатність можна розділити на три основні напрямки [39]:

- Дослідження додаткових затримок поїздів розглянуте в роботах: В.Г. Альбрехта, А.П. Бадецького, А.С. Бессоліцина, Ю.В. Дьякова, М.Ф. Климова, А.Л. Мірошника, Т.А. Одуденко, В.І. Уманського і ін.
- Підвищенню наявної пропускної здатності залізничної лінії при проведенні ремонтних робіт присвячені роботи Ю.В. Дьякова, Д.В. Железнова, Т.В. Костромова, А.М. Макароцькіна і ін.
- Визначенням оптимальної тривалості «вікон» графоаналітичним методом займалися Ю.А. Антонов, А.І. Богачев, С.А. Бикадоров, М. Вуйтович, Ю.В. Дьяков, В.М. Кутумів, А.Л. Мірошник, Н.А. Муковнина, Т.А. Одуденко, Д.А. Печугин, П.Б. Романова, В.М. Сай, В.В. Яхимович і ін.

Ю.В. Дьяков відзначає, що надання «вікон» дозволяє більш продуктивно використовувати шляхову техніку і виконувати задані обсяги робіт за більш короткі строки. Однак їх надання викликає різке збільшення витрат, пов'язаних із затримками поїздів на перегонах і простоями на технічних станціях.

Т.А. Одуденко встановила, що на затримки поїздів від надання «вікон», крім розмірів руху вантажних і пасажирських поїздів впливають місця надання «вікон» стосовно технічних станцій і шляховий розвиток проміжних станцій, які обмежують ремонтвані перегони.

Аналіз робіт з організації ремонтів залізничної колії [29] показує, що проблема розробки графіків проведення ремонтних робіт на тривалу перспективу освоєння прогнозованих перевезень не розглядається. Практично фахівці залізниць розробляють плани модернізації і ремонтів інфраструктури на черговий рік [14], що дозволяє вірогідно враховувати можливості їх людськими ресурсами, технікою і матеріалами.

Збільшити планування оцінки наявної пропускної здатності залізничних ліній в умовах надання «вікон» можна при використанні модуля планування ремонтних робіт (МППР) програмного комплексу імітаційного моделювання.

Прогнозовані обсяги вантажних залізничних перевезень визначаються на основі аналізу довгострокових перспектив розвитку світової і вітчизняної економіки. Зміна обсягів, напрямку і структури прогнозованих вантажопотоків на мережу залізниць міняє умови пропуску поїздів. Взаємні затримки поїздів зростають зі збільшенням коефіцієнта використання наявної пропускної здатності [25], нерівномірності руху, видачі попереджень про обмеження встановленої швидкості і надання «вікон». Виходячи із цього представляється доцільним розробка науково-методичного апарата по комплексній оцінці пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії в умовах взаємного впливу нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій, який дозволив би враховувати зниження розмірів руху в умовах реконструкції.

1.3 Оцінка випадкових факторів, що впливають на зміну умов організації руху

Оцінкою випадкових факторів на зміну умов організації руху займалися: В.І. Апатцев, Н.Н. Барків, А.Ф. Бородін, Н.А. Воробйов, А.Д. Каретників, А.Г. Котенко, Д.Ю. Левін, А.М. Макароцькін, Д.О.П Шенфельд і ін.

Основні дослідження нерівномірності руху були виконані Н.Н. Барковим, А.Д. Каретниковим, Н.А. Воробйовим і А.К.Угрюмовим. Було встановлене підпорядкування добових коливань вагонопотоків на напрямках мережі нормальному закону розподілу, визначений характер сезонних коливань відправлення різних вантажів, наявність місяця максимальних перевезень протягом річного періоду.

Під керівництвом А.Ф. Бородіна з урахуванням робіт В.А. Шарова, А.Д. Чернюгова і ряду інших авторів розроблені пропозиції, включені в нормативні

документи колювання, що враховують поїздо- і вагонопотоки при розробці графіка руху і плану формування поїздів.

Оцінити впливи випадкових факторів на розміри руху які можуть бути пропущені по залізничній лінії, можливо тільки на підставі спеціалізованих імітаційних моделей пропуску поїздів по реконструйованій лінії, що враховує взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій. Так в роботі [16] запропонована математична імовірнісна модель оцінки впливу простою поїздів на лінії на пропускну здатність станції.

1.4 Імітаційне моделювання роботи залізничних станцій

Досвід проектних інститутів залізничного транспорту показує що схеми розвитку інфраструктури коректуються в процесі будівництва і модернізації залізничної інфраструктури. При цьому заявки замовників за структурою об'єктів і по обсягах прогнозованих перевезень часто не збігаються. У світовій практиці [16-17] імітаційне моделювання є основним методом досліджень у всіх галузях знань і науково обґрунтованим методом оцінки характеристик складних систем. Із закордонних систем імітаційного моделювання треба виділити [16] Opentrack (Швейцарія), Railsys (Індія) і Villon [18] (Словаччина). Так, імітаційна система Villon застосовується для розрахунків роботи залізничних станцій, а імітаційні системи Opentrack [17] і Railsys – для моделювання розгалужених залізничних ліній і складання розкладу руху.

Розробці імітаційних моделей залізничних вузлів, станцій і ділянок присвячені роботи вчених: А.Є. Александрова, А.В. Бураковой, І.П. Владимирської, С.К. Дуліна, А.Н. Іванкова, П.А. Козлова, А.Л. Кузнецов, В.П. Махонько, В.Ю. Пермикіна, Н.А. Тушина, У.І. Уманського і ін.

Імітаційна система ІСТРА яка розвивається в науковій школі П.А. Козлова успішно використовується для побудови моделей будь-яких транспортних об'єктів (станцій, промислових підприємств, вузлів), а також для прогнозованого графіка руху поїздів. Розрахунки виконуються на моделях (при

використанні системи «ІСТРА-САПР») і на крупних моделях (при використанні системи «ІМЕТРА»).

Імітаційна система ІСТРА дозволяє розраховувати пропускну здатність технічних станцій, залізничних ділянок, вузлів і ліній з обліком їх структури і технології роботи.

У роботі [26] сформульоване динамічне транспортне завдання. Система ІСТРА дозволила здійснювати технологічну експертизу інвестиційних проектів залізничних станцій і вузлів.

І.Н. Шапкін запропонував на підставі імітаційної моделі оцінювати різні управлінські розв'язки, що дозволяє значно скоротити витрати і створити сприятливі умови для впровадження нових інтелектуальних технологій керування матеріальними потоками, пасажиропотоками, експлуатаційними і ремонтними роботами. А.Є. Александров розробив технологію використання дворівневої (оптимізаційної і імітаційної) моделі розрахунків залізничних станцій і полігонів.

Завдання з розрахунку наявної пропускну здатності реконструйованих залізничних ліній при використанні спеціалізованих імітаційних моделей з урахуванням окремих параметрів систем залізничної автоматики і телемеханіки (показань перегінних, локомотивних і станційних світлофорів), а також визначення кількості і оптимальної тривалості «вікон» у розглянутих вище роботах не вирішувалася.

Розрахунки провізної здатності [6, 7, 14] зводяться до множення наявної пропускну здатності на масу нетто розрахункового вантажного поїзда. Відмінності маси нетто поїзда від прийнятого розрахункового значення, обумовлені особливостями роду вантажу, створюють відхилення розрахункової провізної здатності від реально досяжної. Тому оцінка ймовірності освоєння прогнозованих обсягів перевезень вимагає уточнення.

На вітчизняних залізницях наявна пропускну здатність залізничних ліній у більшості випадків обмежується станціями: сортувальними, зміни локомотивів і локомотивних бригад, стикування типів струму, та інше.

Особливість технології роботи станції полягає в тому що доставка вантажів на її адресу закінчується прибуттям кожного поїзда на станційну колію. Тривалість заняття кожного шляху є випадковою величиною яка залежить від дати і часу, ступені заповнення складів, непродуктивних простоїв і інших факторів, які приводить до значного перевищення нормативної тривалості заняття приймально-відправних шляхів. Тому пропонується визначати її максимальне значення методикою оцінки пропускнуої здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання, при якій забезпечується перевищення модельованої пропускнуої здатності реконструйованої залізничної лінії над потрібною.

Пропускна здатність $N_{л'}$ реконструйованої лінії доцільно визначати на основі імітаційного моделювання. Однак, відсутність обліку в процесі імітаційного моделювання пропуску різних «категорій» вантажних поїздів по лінії в умовах затримок на технічних станціях від надання «вікон» і взаємного впливу нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій не дозволяє використовувати існуючі імітаційні моделі, що і визначає проблему дослідження.

На підставі виконаного аналізу наявної пропускнуої здатності мережі залізниць, а також теоретичних положень і наукових досліджень в області визначення наявної пропускнуої здатності ділянок залізниць, впливу «вікон» на наявну пропускна здатність залізничних ділянок і особливостей імітаційного моделювання роботи залізничних станцій і ділянок виявлений ряд протиріччя у теоретичній області. На підставі цього сформульоване загальне протиріччя в області оцінки пропускнуої здатності залізниць, яке полягає, з одного боку, у необхідності забезпечення достатності організаційних і реконструктивних заходів для освоєння прогнозованих розмірів руху, а з іншого, у недостатньо об'єктивній оцінці пропускнуої здатності залізничних ліній, яка визначається по мінімальній пропускнуої здатності, обумовленої окремо для кожної залізничної ділянки і технічної станції, що не дозволяє враховувати взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій.

У цих умовах у якості однієї з основних завдань при оцінці пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній виступає розробка методики комплексної оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання з метою обґрунтування достатності організаційних і реконструктивних заходів щодо освоєння прогнозованих розмірів руху.

Разом з тим, аналіз практичного досвіду і наукових досліджень в області оцінки пропускної здатності залізниць (у тому числі в умовах надання «вікон») показав, що визначення оптимальної тривалості «вікон» з урахуванням розробки графіка їх надання для конкретних ділянок на перспективу освоєння прогнозованих обсягів перевезень розробляється фахівцями проектних організацій без залучення фахівців які розробляють графіки надання «вікон». Також відсутні автоматизовані системи які дозволяють визначити оптимальні тривалості «вікон» з урахуванням змін у технології проведення ремонтних робіт.

Так метою дослідження є вдосконалювання оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- Обґрунтувати особливості імітаційного моделювання пропуску поїздів при оцінці пропускної здатності реконструйованої лінії;
- Розробити імітаційну модель пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії, яка включає процедури оцінки затримок поїздів на станціях від надання «вікон» і перевірки забезпечення пропуску заданої кількості вантажних поїздів.

Висновки по розділу

Аналіз наукових досліджень в області визначення пропускної здатності залізниць показав, що пропускна здатність визначається по обмежуючих перегонах і окремим елементам шляхового розвитку станцій (парки, горловини,

сортувальні і вантажні пристрої), що виключає можливість визначати максимальні розміри руху в масштабі залізничної лінії з урахуванням впливу випадкових факторів до яких ставляться проведення ремонтних робіт, нерівномірність руху і різні тривалості заняття шляхів на технічних станціях.

Установлено що виконані в цей час наукові праці не передбачають комплексного підходу до оцінки пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній, що не дозволяє враховувати взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій. Разом з тим, на даний момент, відсутні автоматизовані системи які визначають оптимальні тривалості «вікон» з урахуванням змін у технології проведення ремонтних робіт.

Таким чином, аналіз теоретичних положень наукових досліджень і існуючих імітаційних моделей оцінки пропускної здатності залізниць показав, що в цей час відсутній науково-методичний апарат, спрямований на комплексну оцінку пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній. Виходячи з основних завдань дослідження, визначений необхідний науково-методичний апарат оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії, який включає такі положення як: імітаційна модель пропуску поїздів по реконструйованій лінії, яка включає обґрунтування границь моделювання, оцінку затримок від надання «вікон», облік характеристик руху вантажних поїздів і розрахунки ймовірності відповідності модельованої пропускної здатності потрібної лінії і методики оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання. Таким чином, з метою розв'язку наукового завдання дослідження необхідно виконати імітаційне моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії.

2 ОСОБЛИВОСТІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ

2.1 Визначення границь моделювання пропуску поїздів

Пропонується визначати пропускну здатність у масштабі залізничної лінії яка включає кілька залізничних ділянок і технічних станцій. Однак такий підхід викликає необхідність нормування границь реконструйованої залізничної лінії.

Виникле завдання пропонується вирішувати за аналогією з аналітичним розрахунками пропускну здатності залізничної ділянки, яка ухвалюється рівної пропускну здатності обмежуючого перегону. Тому що при імітаційнім моделюванні пропускну здатність залізничної лінії не розраховується окремо для всіх вхідних у лінію елементів, то границі встановлюються відповідно до результатів аналізу втрат поїздо-годин $z_n/\text{год}$ заданим числом поїздів n_k при русі по лінії до початку ремонтних робіт зі схеми: станція призначення - станція, що є «вузьким місцем» пропуску, плюс найближча технічна станція попередня їй.

Для визначення «вузьких місць» які обмежують пропускну здатність лінії при реконструкції і зухвалих затримки в русі поїздів, необхідні статистичні дані про фактичний час прибуття і відправлення поїздів по станціях маршрутів їх проходження. Ці дані дозволяють розраховувати і ранжувати у порядку зниження максимальної тривалості стоянок поїздів на технічних станціях і зниження швидкостей на підходах до них.

Аналіз показує, що найбільш змістовні за інформацією, необхідної для розв'язку цього завдання, форми статистичної звітності. Однак, вони містять дані про пропуск вантажів тільки по передатних пунктах залізниць, без вказівки всіх станцій по маршрутах їх руху і без вказівки часу прибуття і відправлення поїздів по станціях проходження.

В умовах існуючого інформаційного забезпечення пропонується використовувати технологію одержання даних засновану на використанні

системи контролю з ручними запитами, пошуками, вибірками і одержанням достатньої кількості статистичних даних про пропуск вантажних поїздів по залізничній лінії. Ці дані необхідно вручну записати в таблиці Microsoft Excel, запрограмовані на розрахунки тривалості стоянок поїздів на станціях і швидкостей на підходах до них.

Одержання зазначених статистичних даних необхідно починати з визначення номерів вагонів у складах поїздів з розглянутим родом вантажу, що відправляються маршрутами на адресу станції призначення які виникають по залізничній лінії, для якої необхідно визначити місця і причини критичних тривалостей стоянок і зниження швидкостей на підходах до них.

Для цього необхідно при використанні системи сформулювати запит про наявність на дорозі вивантаження вагонів на адресу станції призначення. По номерах вагонів визначаються номери і індекси вантажних поїздів у яких вони виникають. По даному запиту видається довідка про кількість вагонів у регіонах залізної дороги з розкладанням по типах вагонів на адресу станції призначення.

Для визначення списку вагонів з вантажем певного типу, потрібно вказати кількість цих вагонів у списку на території області або в цілому на дорозі. У результаті видається довідка з інформацією про номери вагонів, станціях і датах навантаження, станціях призначення, типу вантажу, строках доставки, останніх операціях з вагонами: даті, часу, місці, індексу поїзда, у якому перебуває даний вагон. Для подальшої роботи у довідці потрібно по індексах вантажних поїздів визначити станції формування їх складів.

У якості обстежуваних вантажних поїздів доцільно використовувати відправницькі маршрути з місць навантаження. Щоб визначити список цих поїздів необхідно зрівняти коди єдиної мережної розмітки станції навантаження і станції формування, у цих поїздів коди зазначених станцій збігаються.

Спостереження за пропуском вагонів зі станції відправлення до станції призначення в складах вантажних поїздів, при існуючих умовах одержання

статистичних даних, по запитах із двох систем, необхідно починати при їхньому вступі на дорогу призначення вантажу яке встановлюється за даними системи. За допомогою співробітників ІОЦ залізниць проходження одержувати статистичні дані із системи до станцій формування поїздів. При виникненні труднощів в одержанні статистичних даних з ІОЦ сусідніх залізниць можна використовувати дані із системи, але тоді необхідно робити запити в оперативному режимі, з моменту появи поїзда в системі, тому що статистичні дані зберігаються обмежений час і можна не встигнути одержати необхідні дані.

Враховуючи описану технологію одержання статистичних даних про пропуск поїздів, доцільно почати її виконання з дороги відправлення. При цьому необхідно одержувати статистичні дані про поїзди, на адресу станції призначення і запитувати в працівників ІОЦ дані про проходження всіх станцій від станції відправлення до станції призначення. Отримані статистичні дані заносяться в таблиці Excel-Файлу.

Можливі два алгоритми обробки даних:

1. Алгоритм обробки даних рухи вантажних поїздів з використанням даних ІОЦ усіх доріг проходження, який включає:

1.1 Визначення номерів вагонів у складі прибулих поїздів на станцію призначення при використанні системи контролю;

1.2 Визначення номерів і індексів поїздів, у складах яких є розглянуті вагони;

1.3 Запит статистичних даних про їхній пропуск із архіву системи за допомогою працівників ІОЦ доріг проходження здійснюється по індексу состава протягом усього шляху проходження;

1.4 Обробка даних.

2. Алгоритм обробки даних рухи вантажних поїздів з використанням даних ІОЦ дороги призначення:

2.1 Визначення списку вагонів на мережі, призначенням на адресу розглянутої станції;

2.2 Визначення номерів і індексів поїздів, у яких є розглянуті вагони;

2.3 Оперативні запити статистичних даних про їхній пропуск із архіву системи до стикової станції дороги призначення по індексу протягом усього шляху проходження;

2.4 Доповнення даних із систем;

2.5 Обробка даних.

Після одержання вихідних даних їх заносять у розрахункову таблицю, у кожному рядку якої для кожної станції заповнюються часи «прибуття», «відправлення» або «проходження» вантажним поїздом даної станції, а також довжини перегонів між станціями. Тривалості стоянок поїздів на станціях, зниження швидкостей на підходах до них, а також дільничні і маршрутні швидкості розраховуються автоматично. У випадку руху поїзда різними маршрутами в обхід залізничних вузлів протягом полігона, число станцій, які входять в одну ділянку для різних вантажних поїздів буде різним. Тому доводиться вручну коректувати шаблони розрахункових таблиць Microsoft Excel, що викликає додаткові витрати часу.

Зниження швидкостей на підходах до залізничних станцій для вибірки вантажних поїздів групуються по перегонах, дільничні швидкості групуються по залізничних ділянках. Потім швидкості ранжуються в порядку убутання і знаходяться частки поїздів відповідні до кожного інтервалу із кроком в 10 км/год (рис. 2.1). Це дозволяє оцінити, чи є втрати часу при русі поїздів одиничними, або ж вони носять системний характер. Відображення динаміки зміни маршрутної швидкості у вигляді графіків для групи поїздів по залізницях, дозволяють оцінити здатності кожної залізної дороги витримати договірні строки доставки вантажів.

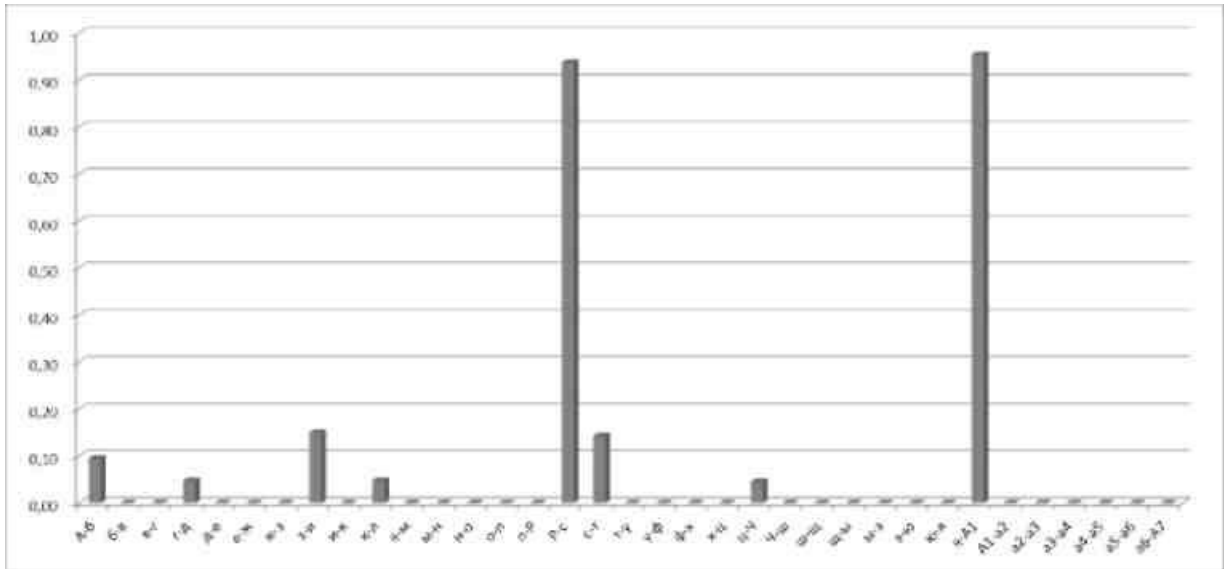


Рис. 2.1 – Частки вантажних поїздів зі швидкостями на підходах до залізничних станцій до 20 км/год

Розрахунки зниження швидкостей на підходах до станцій дозволяє виявити, зокрема, штучне зниження стоянок поїздів на станціях за рахунок практики реєстрації поїзда, як уже відправленого.

Діаграми максимальних і узагальнених тривалостей стоянок для кожної станції, отримані для однієї із залізничних ліній Одеської залізниці, що обслуговує морський порт (рис. 2.2) дозволяють визначати станції, що обмежують розміри руху через тривалі затримки поїздів, а їх спільний аналіз дозволяє виявити, чи мають тривалі стоянки поїздів на станції одиничний або системний характер. Станції з максимальними сумарними і одиничними максимальними стоянками поїздів вимагають проведення першочергових заходів щодо зниження критичних тривалостей стоянок.

Пропонований критерій визначення «вузького місця» пропуску без обліку «вікон» має вигляд:

$$f(t_{CT}^{max}, t_{CT}^{сум}, \Delta v_{II}) \rightarrow \max, \quad (2.1)$$

де $t_{CT}^{сум}$ - сумарні тривалості стоянок на станціях, год;

t_{CT}^{max} - максимальні тривалості стоянок на станціях, год;

Δv_{II} - зниження швидкостей на підходах до станцій, км/год.

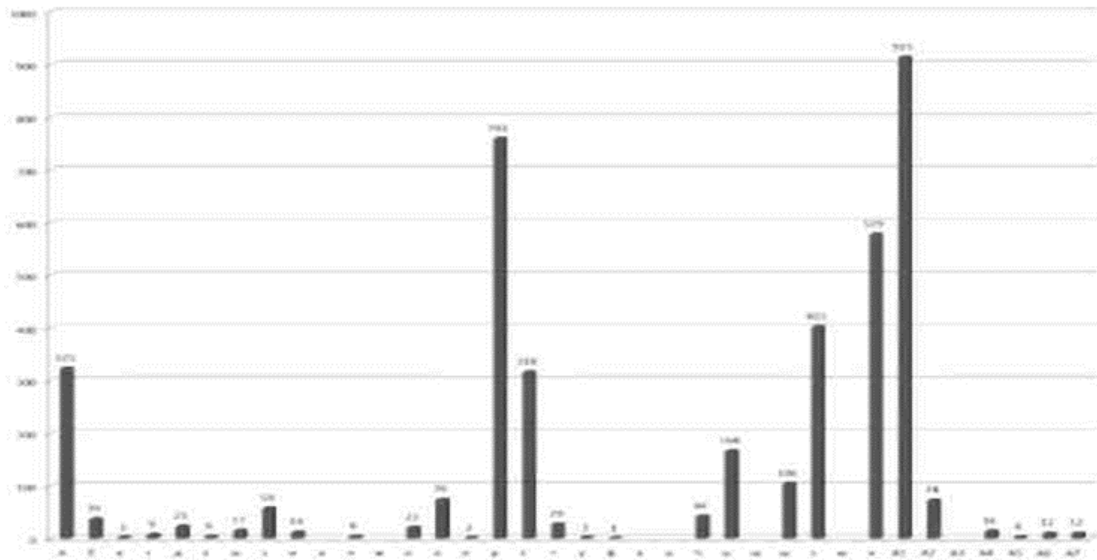


Рис. 2.2 – Максимальні тривалості стоянок 22 вантажних поїздів на станціях

Дільнична швидкість, усереднена по всіх поїздах, пропущених по обстежуваній ділянці – важливий бюджетний показник, широко використовуваний при розрахунках різних показників, наприклад, довжини плеча обслуговування локомотивної бригади, як добуток дільничної швидкості на нормовану тривалість безперервної роботи.

Певні і згруповані без усереднення значення дільничної швидкості стають індикаторами ділянок, що обмежують розміри руху залізничної лінії. При цьому найбільшу увагу вимагають ділянки з найбільшими частками мінімальних значень дільничних швидкостей, для визначення заходів щодо їхнього усунення.

Виконані розрахунки тривалостей проходження вантажних поїздів від станції відправлення до станції призначення і порівняння їх з нормативним строком доставки вантажу [11]. На рис. 2.3 показаний строк доставки кожного вантажного поїзда, відправленого протягом місяця зі станції відправлення на станцію призначення Одеської залізниці для трьох спостережуваних маршрутів.

Порівняння нормативного строку доставки з фактичним у поїздів (рис. 2.3) показує, що з 46 поїздів, 4 поїзда прибувають на станцію призначення із простроченням доставки вантажу. Це викликане наднормативною тривалістю стоянок поїздів на технічних станціях і підходах до них. Станції з найбільшими

тривалістю стоянок поїздів при проходженні по другому маршруту, ранжирувані в порядку убавання сумарних стоянок 22 поїздів (таблиця 2.2 і рис. 2.4).



Рис. 2.3 – Строк доставки вантажів по трьом різним маршрутам

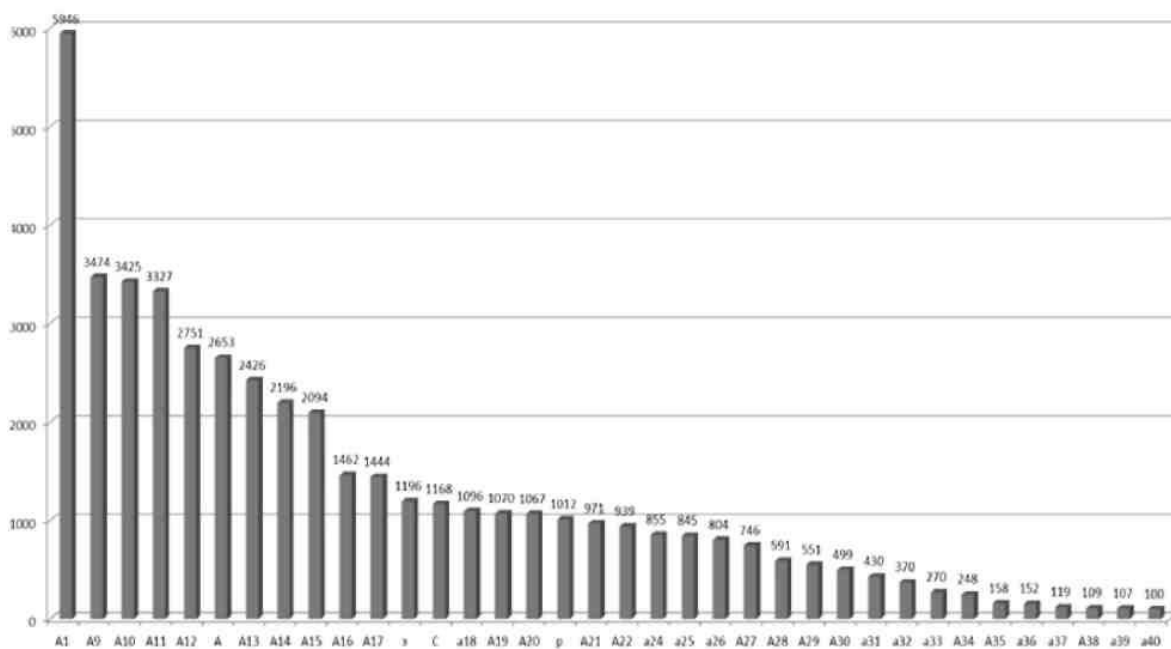


Рис. 2.4 – Сумарні тривалості стоянок 22 вантажних поїздів на станціях проходження

Таблиця 2.2 – Станції з найбільшою тривалістю стоянок 22 вантажних поїздів при проходженні по другому маршруту

Назва станції	Тривалість стоянок поїздів																						Разом
	85	170	0	197	72	179	290	282	72	65	161	473	412	494	138	101	915	124	737	464	257	258	
A1	85	170	0	197	72	179	290	282	72	65	161	473	412	494	138	101	915	124	737	464	257	258	5946
A15	188	284	207	197	507	206	494	629	0	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	286	114	192	3474
A16	171	85	0	0	121	0	158	228	288	116	91	186	236	195	198	151	212	182	241	160	192	214	3425
A17	122	150	0	110	210	0	0	655	0	303	129	100	121	245	115	210	127	133	155	318	124	0	3327
A18	92	36	106	201	86	0	294	148	240	56	46	148	51	99	105	82	61	291	56	335	37	181	2751
A	90	116	71	141	325	100	87	164	119	188	126	193	110	91	130	71	123	117	83	70	72	66	2653
A19	109	85	0	0	99	0	211	95	85	137	108	107	90	114	110	110	130	245	133	190	140	128	2426
A20	53	101	0	0	295	0	0	0	0	80	223	300	205	0	95	125	0	110	290	120	139	60	2196
A21	250	108	0	0	210	0	28	100	4	125	83	94	155	58	66	180	149	75	164	60	115	70	2094
A22	94	59	46	69	46	159	167	70	35	73	20	62	43	50	42	18	37	58	60	78	64	112	1462
A23	189	472	45	40	90	110	100	110	0	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	75	39	1444
э	270	0	16	90	0	39	0	32	0	43	33	25	148	25	403	0	0	0	23	36	13	0	1196
C	0	0	318	0	0	83	166	0	0	0	0	0	134	29	237	10	0	18	14	150	0	9	1168
a24	1	3	100	58	0	0	0	590	46	60	0	0	0	0	53	75	0	0	0	0	110	0	1096
A25	78	142	0	0	0	46	81	0	207	0	0	0	0	251	82	0	0	74	109	0	0	0	1070
A26	2	2	85	102	68	17	0	327	37	160	7	48	82	2	0	2	2	68	2	0	0	54	1067
p	0	0	35	0	7	0	22	0	12	0	9	0	9	0	0	53	0	24	12	31	37	761	1012
A27	88	143	0	0	0	78	120	0	55	0	0	0	0	124	151	0	0	81	131	0	0	0	971
A28	19	43	34	139	25	0	0	49	0	16	0	59	0	0	91	165	119	0	50	69	61	0	939
a29	40	83	64	54	41	27	205	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	68	116	855
a30	311	0	0	283	0	0	0	80	0	0	0	171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	845
a31	214	254	0	0	0	68	0	0	143	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0	0	0	804
A32	97	0	0	0	0	67	176	0	72	0	0	0	0	123	67	0	0	61	83	0	0	0	746
A33	121	111	0	0	0	96	0	0	114	42	0	0	0	0	107	0	0	0	0	0	0	0	591
A34	186	365	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	551
A35	0	45	0	0	164	97	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	46	88	499
a36	0	4	0	0	190	0	0	0	2	234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	430
a37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	15	0	11	9	0	239	0	0	0	78	9	370
a38	0	1	0	0	0	30	0	0	111	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	270
A39	0	0	0	0	0	0	182	0	47	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	13	0	4	248
A40	0	68	0	0	0	0	0	19	3	0	0	20	26	0	0	0	0	0	0	10	12	0	158
a41	13	49	0	0	0	28	0	0	26	11	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	152
a42	0	28	0	0	8	11	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119
A43	0	0	0	0	0	0	45	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109
a44	0	0	0	0	24	0	0	0	0	28	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107
a45	7	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	100

Фактичні тривалості стоянок вантажних поїздів на станції А1 і нормативне значення, рівне 76 хв (рис. 2.5).

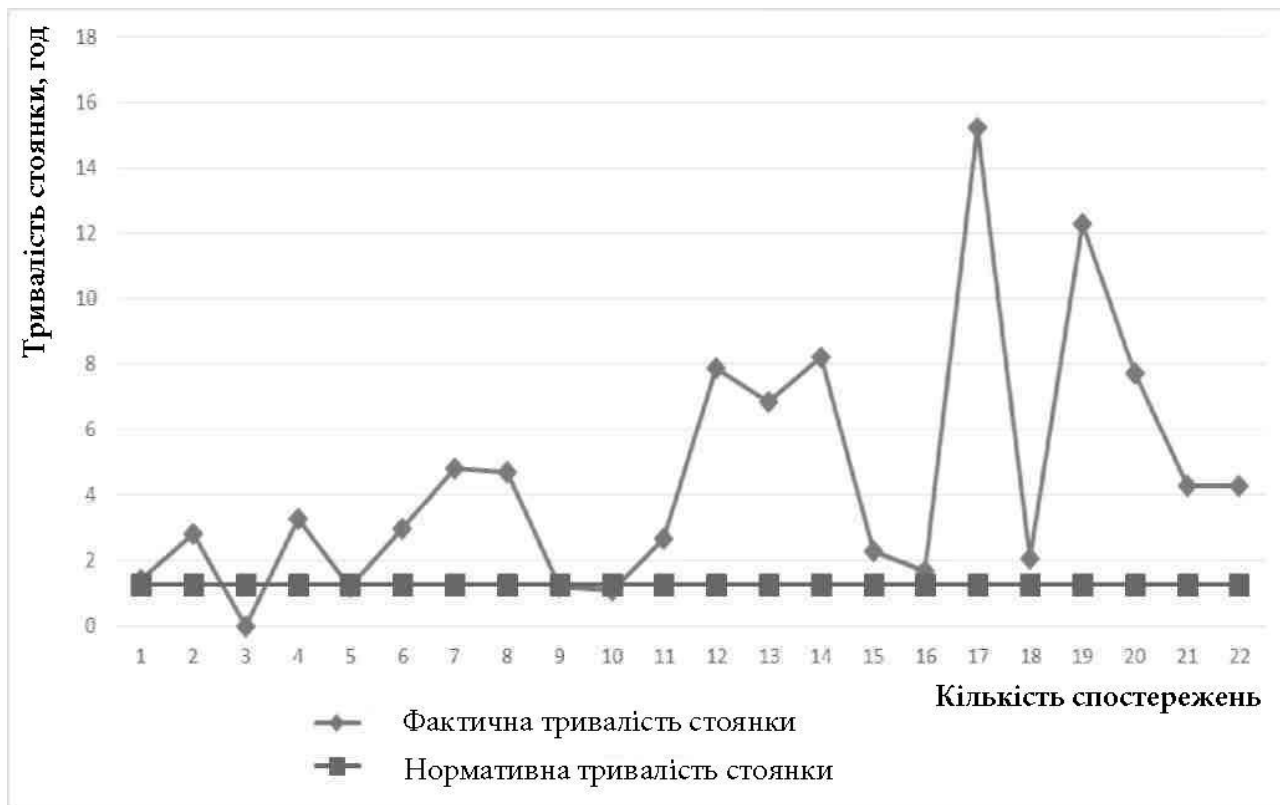


Рис. 2.5 – Фактичні тривалості стоянок вантажних поїздів на станції А1 і нормативне значення

Як впливає з наведеного аналізу (див. рис. 2.4), на полігоні саме тривалі стоянки поїздів які перевозять вугілля маршрутними поїздами, мають місце на станції А1, на якій відбувається зміна виду тяги. Ці стоянки значно перевищують їх нормативне значення (рис. 2.5), носять не одиничний, а системний характер, що характерно для станцій зміни тяги.

Одним зі шляхів їх зниження є використання системи яка дозволяє звільнити поїзні локомотиви від заповнення гальмових магістралей составів і повного випробування гальм [9], скорочуючи тривалості стоянок поїзних локомотивів при технічному обслуговуванні состава на 25 хв.

Відмінність тривалості стоянок поїздів приводить до зміни маршрутних швидкостей у широкому діапазоні (рис. 2.6-2.8).

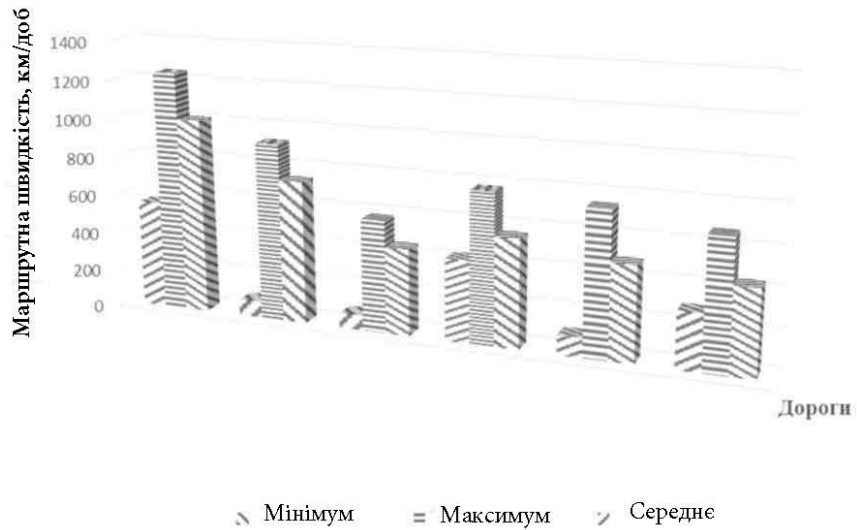


Рис. 2.6 – Мінімальна, максимальна і середня маршрутні швидкості вантажних поїздів по 1 маршруту

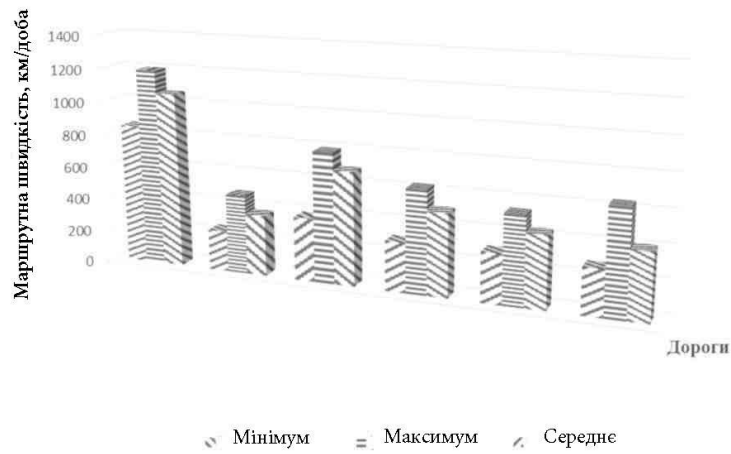


Рис. 2.7- Мінімальна, максимальна і середня маршрутні швидкості вантажних поїздів по 2 маршруту

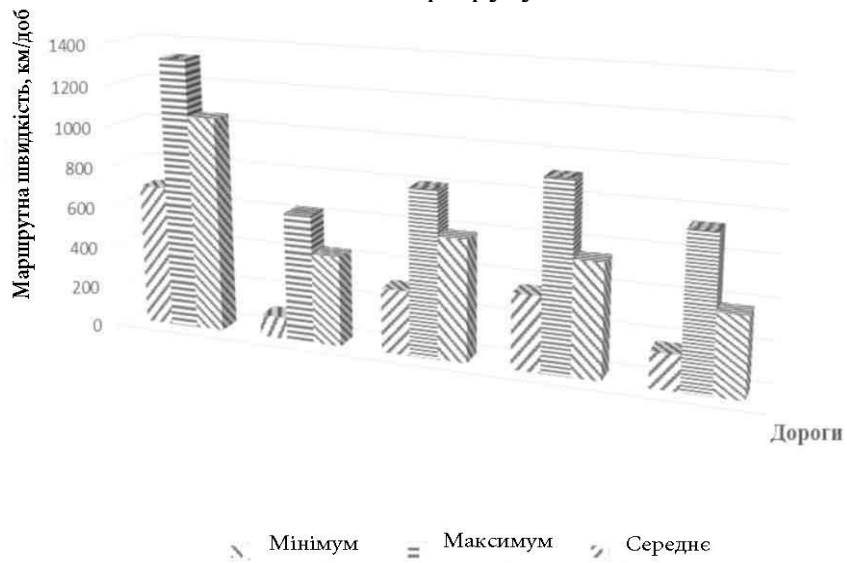


Рис. 2.8 – Мінімальна, максимальна і середня маршрутні швидкості вантажних поїздів по 3 маршруту

Визначення «вузьких місць» реконструйованої залізничної лінії на основі системи з деталізацією статистичних даних по станціях проходження поїздів [12], може стати інструментом підтримки прийняття розв'язків про можливість перевезення вантажів з гарантією їх доставки в договірний термін, а також для вибору пріоритетності заходів щодо зняття затримок у русі.

Установлювати вплив критичних тривалостей стоянок поїздів на станції на розміри руху реконструйованої залізничної лінії пропонується методикою оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання. Для визначення заходів щодо скорочення цих стоянок необхідно визначити їхньої причини на основі аналізу технології роботи станції.

2.2 Визначення впливу надання «вікон» на збільшення тривалості стоянки поїздів

Результатом визначення «вузьких місць» реконструйованої залізничної лінії є виявлення залізничних перегонів, станцій і ділянок, що обмежують розміри руху.

Критичні тривалості стоянок поїздів на станціях і зниження швидкостей на підходах до них можуть бути викликані порушеннями в технології роботи або невідповідністю технічного оснащення реконструйованої залізничної лінії потрібної пропускної здатності. У першому випадку необхідне проведення організаційно-технічних заходів, а в другому – реконструктивні.

Для розробки заходів щодо усунення місць критичних тривалостей стоянок і зниження швидкостей на підходах до них необхідно більш докладно проаналізувати їхню технологію роботи. Статистичні дані із системи контролю і опитування оперативно-диспетчерського персоналу дозволяють визначити причини виникнення критичних тривалостей стоянок поїздів на станціях і зниження швидкостей на підходах до них.

Для проведення заходів щодо усунення причин критичних тривалостей стоянок на станціях потрібно одержати і обробити дані про тривалість заняття станційних колій, тому що фактичні значення нерідко перевищують мінімально необхідні інтервали часу. Це підтверджується аналізом даних тривалість заняття шляхів на прикладі станції А1.

Таблиця 2.3 – Максимальні і мінімальні тривалості заняття шляхів за місяць

Тривалості заняття шляхів, хв.								
№8	№6	№4	№2	№1	№3	№5	№7	№9
1254	996	1179	864	240	1241	1131	879	1332
6	8	19	8	16	45	12	17	18

Дисперсійний аналіз тривалості заняття приймально-відправних шляхів станції показав наявність істотних відмінностей між ними, тому слід урахувувати закони розподілу тривалості заняття поїздами окремо для кожного шляху. Перевіркою критеріями згоди встановлене, що максимально адекватною моделлю, яка описує вихідні дані, є логнормальний закон розподілу (рис. 2.9).

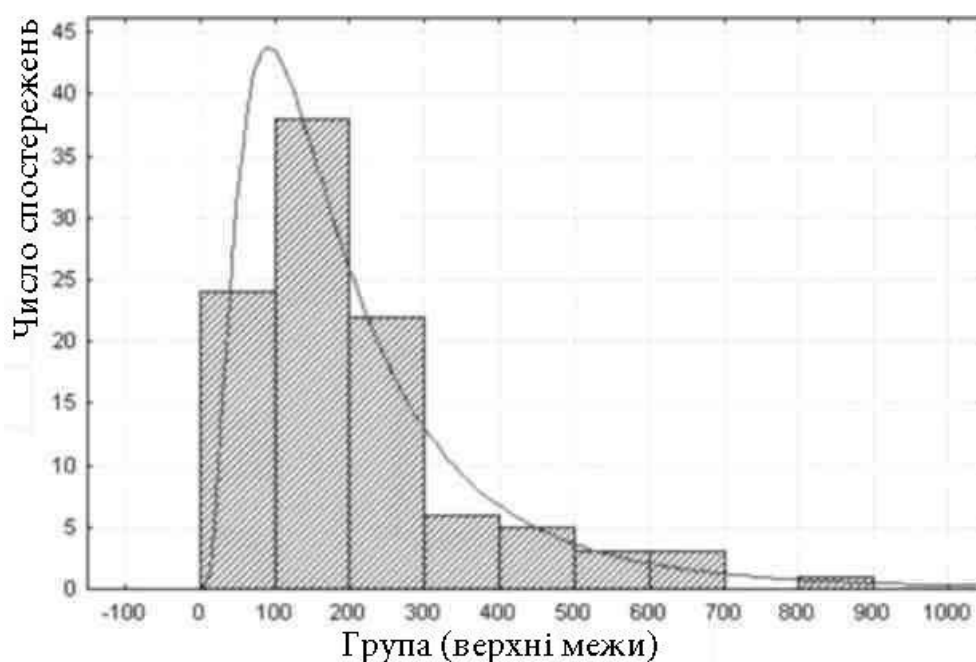


Рис. 2.9 – Гістограма розподілу тривалості заняття 2 шляху станції А1

Параметри законів розподілу тривалості заняття приймально-відправних шляхів, отримані при використанні програми Statistica 6.1, представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри законів розподілу тривалості заняття шляхів станції А1

№ шляхи	Параметри законів розподілу
2	$y=1,0200*\text{Lognorm}(x;5,09732088;0,758781597)$
3	$y=0,9400*\text{Lognorm}(x;5,38159475;0,719177337)$
4	$y'=1,2600*\text{Lognorm}(x;5,20744401;0,702969766)$
5	$y=0,7600*\text{Lognorm}(x;5,23081091;0,786009521)$
6	$y=1,2800*\text{Lognorm}(x;5,24537205;0,730119145)$
7	$y=1,1300*\text{Lognorm}(x;5,24458722;0,689187822)$
8	$y=1,1500*\text{Lognorm}(x;5,26710296;0,76872101)$
9	$y=1,0500*\text{Lognorm}(x;5,36434577;0,767385916)$

Причинами значної відмінності параметрів законів розподілу тривалості заняття станційних колій, є обробка довгосоставних і великовагових поїздів. Діаграма середньодобової тривалості заняття приймально-відправних шляхів станції А1 за місяць (рис. 2.10) показує широкий діапазон зміни цих значень від 2,51 до 5,93 години.

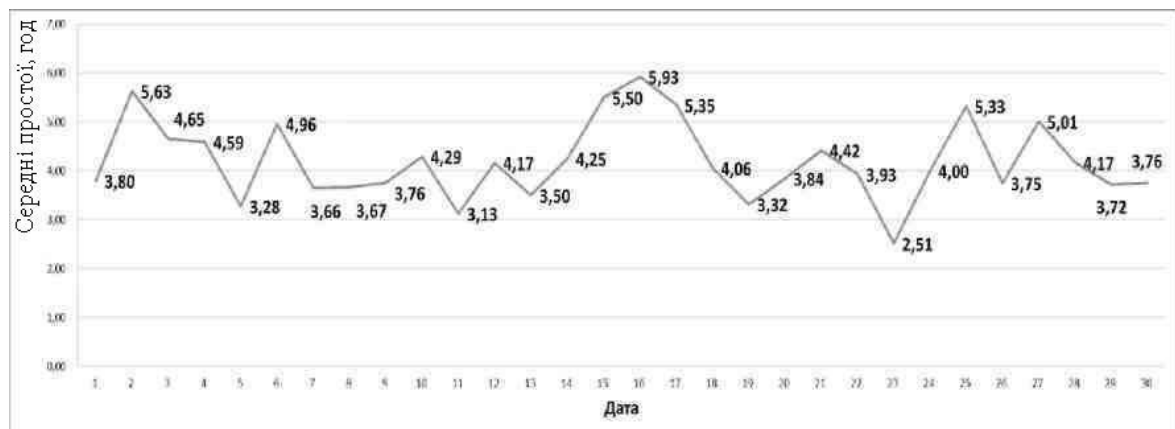


Рис. 2.10 – Динаміка середньої тривалості заняття шляхів станції А1 за місяць

Середня за місяць тривалість заняття приймально-відправних шляхів станції склала 4,20 години. Як впливає з графіка виконаного руху поїздів за добу (рис. 2.11), отриманого із системи при невеликих відхиленнях від

нормативного графіка, середня за добу тривалість заняття приймально-відправних шляхів станції становить 2,28 години, що менше її середнього значення за місяць, рівного 4,20 години, на 1,92 години (46 %).

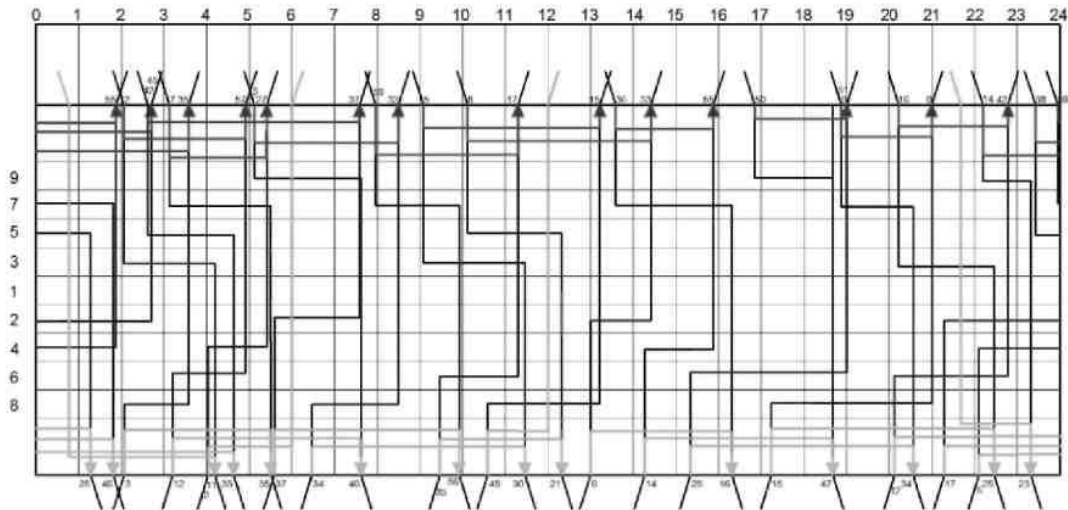


Рис. 2.11 – Тривалість заняття приймально-відправних шляхів станції за добу

Середня за добу травня 2018 року тривалість заняття приймально-відправних шляхів станції становить 3,75 години, що на 64 % більше, чим при відсутності «вікон» за добу квітня 2017 року (рис. 2.12).

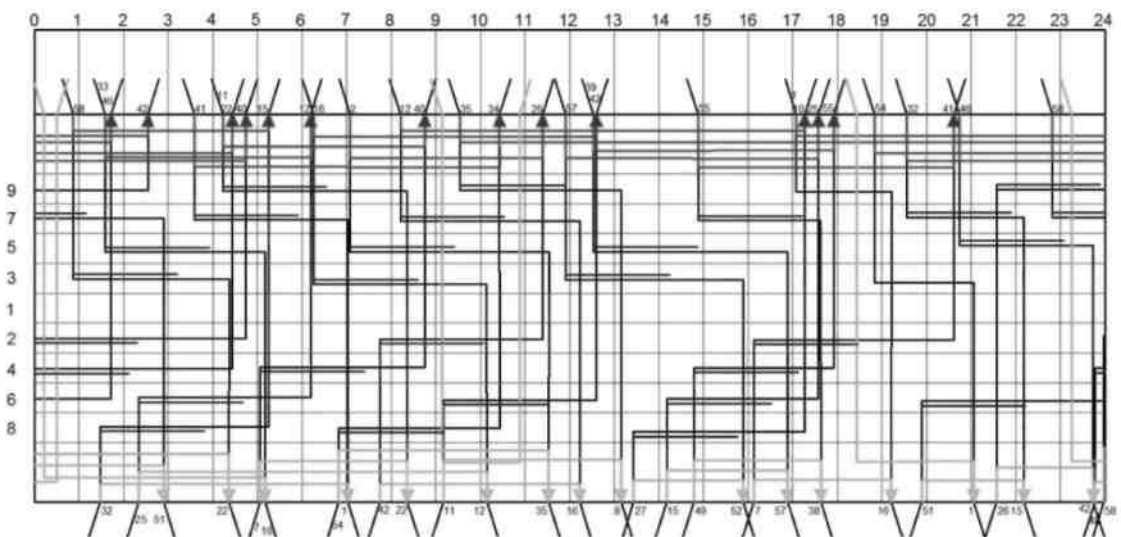


Рис. 2.12 – Тривалість заняття приймально-відправних шляхів станції за добу травня 2018 року

Тривалість заняття шляхів станції за добу квітня для всіх випадків, коли тривалість заняття поїздами приймально-відправних шляхів за добу травня більш цього значення (2,28 години) показана паралельними відрізками (рис. 2.12). Збільшення тривалості заняття приймально-відправних шляхів станції викликане наданням «вікон».

Середня тривалість стоянок (t_{CT}) поїздів на технічних станціях в умовах роботи реальної лінії при наданні «вікон» (рис. 2.13) збільшується більш ніж на 60 %.

$$t'_{CT} = t_{CT}^{б.ок} + t_{CT}^{ок} \quad (2.2)$$

де $t_{CT}^{б.ок}$ - тривалість стоянок поїздів на технічній станції C_i^{TEX} при відсутності «вікон» на залізничній лінії;

$t_{CT}^{ок}$ - затримки поїздів на технічній станції C_i^{TEX} від надання «вікон» на залізничній лінії.

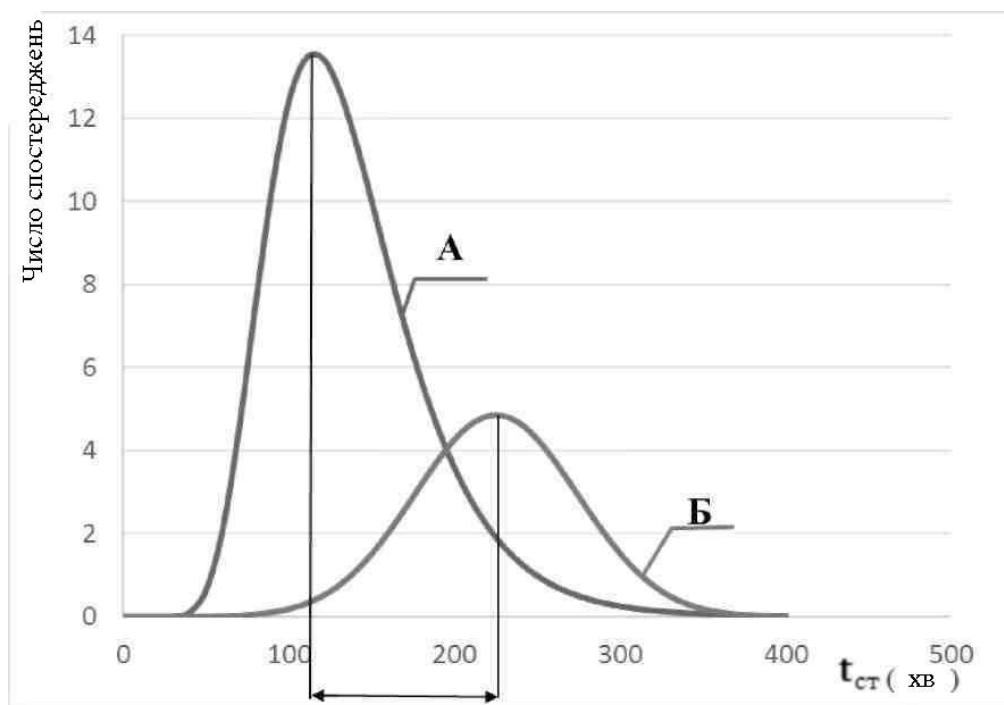


Рис. 2.13 – Зміна тривалості стоянок (t_{CT}) поїздів на станції при наданні «вікон» (Б) і при їхній відсутності (А)

Це необхідно враховувати при оцінці модельованої пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній.

Опитування оперативно-диспетчерського персоналу показало, що причинами критичних тривалості стоянок поїздів на станції, крім зміни виду тяги і надання «вікон» є:

1. Припинення залізничного руху через переїзд у періоди з 6:50 до 7:30, з 8:10 до 8:50 і з 17:40 до 19:00, що тягне щодобовий середній перевідпочинок локомотивних бригад, рівний 2,5 години;

2. Додаткові пробіги локомотивів і конфліктні маршрути, обумовлені необхідністю направляти тепловози на 15-й шлях третього приймально-відправного парку, через недолік шляхів відстою локомотивів у транзитному парку станції;

3. Тривале заняття шляхів технічним обслуговуванням вагонів і підготовкою поїздів до відправлення із причин простою составів між змінами оглядачів вагонів і невикористання системи, яка є на станції, але перебуває в неробочому стані.

Проведений аналіз дозволяє визначити наявність і причини виникнення критичних тривалості стоянок поїздів на станціях і зниження швидкостей на підходах до них. Ця інформація може бути використана в якості вихідних даних для оцінки розмірів руху реконструйованої залізничної лінії методикою оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання.

За допомогою пропонованої імітаційної моделі пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії в умовах стану інфраструктури залізничної лінії і графіка надання «вікон» для ремонтних робіт зі стану на 2019 рік, планових розмірів руху і статистичних даних про тривалості заняття приймально-відправних шляхів проведена оцінка моделюємої пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії (таблиця 2.3).

Стан інфраструктури на 2019 рік: одноколійна лінія, електрифікована до станції А1, корисна довжина шляхів на всіх станціях – 71 умовний вагон.

Періоди проведення ремонтних робіт на реконструйованій лінії прийняті відповідно до графіка проведення ремонтних робіт, розробленому на Одеської залізниці. Враховане припинення залізничного руху через переїзд, розташований між парками станції А1 у періоди з 6:50 до 7:30, з 8:10 до 8:50 і з 17:40 до 19:00.

Середня тривалість заняття шляхів на станції А1 встановлюється за законами розподілу (таблиця 2.4).

За допомогою імітаційної моделі пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії виконана оцінка модельованої пропускної здатності реконструйованій залізничній лінії, при комбінаціях наступних умов (таблиця 2.5):

1. Без надання «вікон» і тимчасового припинення залізничного руху через переїзд.
2. В умовах надання «вікон» для ремонтних робіт.
3. З урахуванням тимчасового припинення залізничного руху через переїзд.
4. В умовах надання «вікон» і тимчасового припинення залізничного руху через переїзд (рис. 2.14).

Таблиця 2.5 – Результати оцінка модельованої пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії

Результати імітаційного моделювання пропуску поїздів	Порівнювані варіанти			
	1	2	3	4
Модельована пропускна здатність реконструйованої лінії, пара поїздів	48	37	46	35
Середня тривалість заняття шляхів станції А1, хв.	114,9	136,4	119,5	137,1

Аналіз отриманих результатів показує, що при розглянутих умовах визначальним фактором зниження модельованої пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії і збільшення тривалості стоянок поїздів на станції А1 є надання «вікон» для ремонтних робіт. Тимчасові припинення залізничного руху через переїзд 49 км знижують модельовану пропускну

здатність реконструйованої залізничної лінії на 1,5 пари поїздів і збільшують середню тривалість заняття шляхів на станції А1 на 4,6 хв.

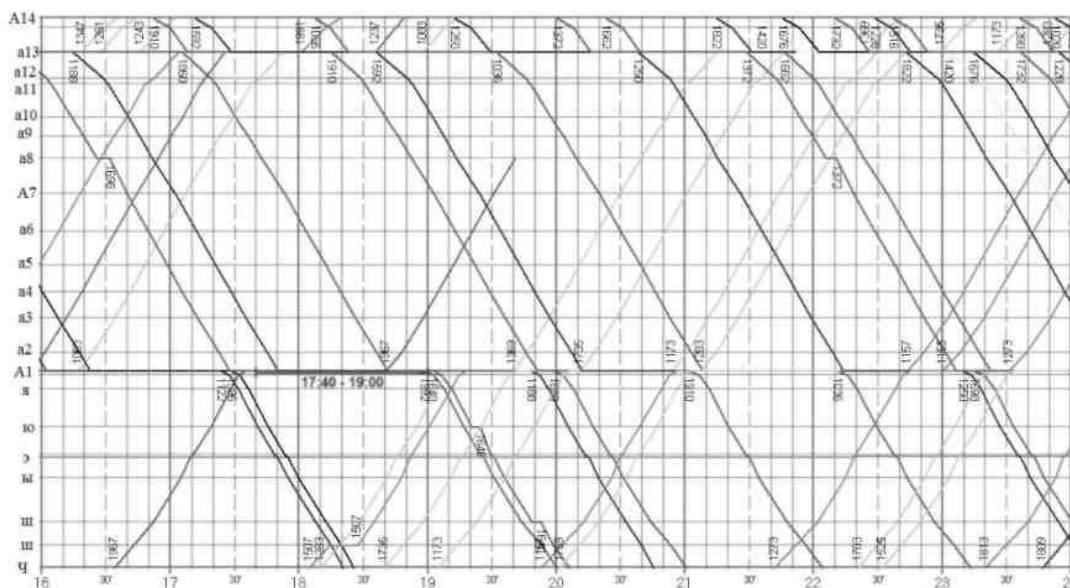


Рис. 2.14 – Фрагмент графіка руху поїздів, отриманого програмним комплексом імітаційного моделювання пропуску поїздів, в умовах 4 варіанта.

На мережі залізниць застосовуються дві основні технології організації робіт з ремонту шляхів:

- Виконання робіт в «вікна» тривалістю 8, 10 і 12 годин;
- Закриття перегону на весь період проведення ремонтних робіт.

Вибір варіанта проведення ремонтних робіт пов'язаний з рівнем використання наявної пропускної здатності і наявністю паралельних залізничних ліній ходу.

Найбільша продуктивність ремонтних робіт досягається на закритому перегоні, а найменша – в умовах надання «вікон» тривалістю 8 годин. Це пов'язане з тим, що зі збільшенням тривалості «вікон» знижуються втрати часу і енергії на доставку шляхових машин до місця робіт і назад, розгортання і згортання робіт, що забезпечує їх більш високу продуктивність.

Оскільки кожне «вікно» надається в окрему добу то при закритті перегону скорочується не тільки загальна тривалість ремонтних робіт, але і кількість доби знаходження шляхової техніки на ремонтованій ділянці. Це

дозволяє збільшити річну продуктивність за рахунок використання ремонтних комплексів на інших ділянках. Експлуатаційні витрати і витрати на порожній пробіг робочих поїздів знижуються в 1, 5-2 рази [16], а потреба в локомотивах - на 70%. Недоліком даної технології є зниження наявної пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії через тривалий пропуск поїздів по одному шляху двоколійного перегону в обох напрямках руху і збільшення поїздо-годин простою і руху вантажних і пасажирських поїздів у порівнянні з «вікнами» меншої тривалості.

Таким чином, тривалість стоянок поїздів на технічних станціях в умовах надання «вікон» визначається варіантом графіка надання «вікон» (8-мі, 10-ти, 12-ти і 24-х) і в остаточному підсумку втратами поїздо-годин на лінії, що впливає на економічно доцільний варіант графіка надання «вікон», обумовлений за критерієм мінімальних витрат з урахуванням можливості відхилення частини поїздопотоку на паралельні лінії ходу, при забезпеченні потрібної пропускної здатності.

$$C_3 = f(z_{n/ч}, N'_л, N'_м, l_y) \rightarrow \min \quad (2.3)$$

де $N'_л$ - наявна пропускна здатність реконструйованої лінії;

$N'_м$ - максимальний поїздопотік, який може бути відхилений на паралельну залізничну лінію;

l_y - довжина ремонтваної ділянки, км.

2.3 Визначення можливості освоєння прогнозованих обсягів перевезень

Відмінності ходових властивостей поїздів різних «категорій» [24] обумовлюються родом перевезеного вантажу (тип рухливого складу, кількість вагонів у складі, вага і довжина поїзда) (таблиця 2.6). Тому, залежно від черги пропуску вантажних поїздів по реконструйованій залізничній лінії, розміри руху в різну добу стає випадковими.

Таблиця 2.6 – Маса составів поїздів залежно від типу перевезеного вантажу

№ п/п	Тип вантажу	Тип рухомого складу	Вантажопідйомність, т	Маса тари, т.	Умовна довжина вагона	Кількість умовних вагонів	Кількість фізичних вагонів	Маса складу, т.
1	Нафтові	Цистерни восьмивісні	125	51	1,52	71	46	8096
2	Нафтові	Цистерни чотиривісні	65	25	0,86	71	82	7380
3	Газовий конденсат	Цистерни чотиривісні	52	37,5	0,86	71	82	7339
4	Добрива	Минераловози	69,5	24,5	0,95	71	74	6623
5	Руда	Піввагони	69,5	24,5	1	71	71	6674
6	Сірка	Піввагони	68,5	24,5	1	71	71	6603
7	Вугілля	Піввагони	69	24,5	1	71	71	6639
8	Зернові	Хопери	65	22	0,95	71	74	6438
9	Лісоматеріали (дошки)	Піввагони	62	24,5	1	71	71	6142
10	Генеральні	Критий	68	22	1,05	71	67	6030
11	Метал	Піввагони	51	24,5	1	71	71	5361
12	Інші	Змішаний	-	-	-	71	-	4300
13	Контейнерні	Контейнери	68,5	25,5	1,85	71	38	3572
14	-	Порожній	-	25,5	1,85	71	38	969

Перегінні часи ходу (таблиці 2.7-2.8) для однієї із двоколієвих ліній при тепловозній (2ТЕ116) і електричній тязі (ВЛ10 і ВЛ15) для 1, 2, 7, 12 і 14 «категорій» вантажних поїздів, що мають істотну різницю в масі (таблиця 2.6).

Максимальні відмінності часів ходу при тепловозній тязі для непарного і парного напрямків становлять відповідно 27 і 36 хв (таблиця 2.6), а для електричної тяги – 8 хв в обох напрямках руху (таблиця 2.7), що викликає нерівномірність руху і знижує моделюючи пропускну здатність реконструйованих залізничних ліній.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків перегінних часів ходу для залізничної лінії при тепловозній тязі (парний/непарний напрямок) часи ходу, хв

№ п/п	Назва перегонів	1 «категорія»	2 «категорія»	7 «категорія»	12 «категорія»	14 «категорія»
1	а-б	9/14	9/13	9/13	9/11	9/10
2	б-в	14/11	14/11	14/10	13/8	13/8
3	в-г	17/19	17/18	17/17	16/17	15/16
4	г-д	11/11	10/11	10/11	10/11	10/10
5	ж-е	13/13	13/12	13/12	13/11	13/11
6	е-ж	16/16	16/15	15/14	14/11	13/10
7	ж-з	10/14	10/14	10/13	10/12	9/12
8	з-и	13/9	13/8	13/8	12/7	12/5
9	и-к	15/15	15/14	15/13	14/12	13/9
10	к-л	10/9	10/8	10/8	10/7	9/7
11	л-м	12/7	11/7	11/7	10/7	9/7
12	м-н	14/9	14/9	14/9	13/9	11/9
13	н-о	19/10	18/10	17/10	15/10	13/10
14	о-п	27/13	25/13	23/13	21/13	19/13
15	п-р	13/14	12/14	11/13	11/12	10/12
16	р-с	9/11	9/11	9/11	9/11	9/11
17	с-т	4/7	4/7	4/7	4/7	4/7
18	т-у	11/5	11/5	11/5	11/5	11/5
РАЗОМ		237/207	231/200	226/194	215/181	202/172

Розрахунки перегінних часів ходу для інших «категорій» вантажних поїздів, представлених у таблиці 2.6 для розглянутої залізничної лінії, яка характеризується планом і профілем, показав недоцільність виділення більшого числа «категорій». Тому «категорії» поїздів пропонується моделювати перегінними часами ходу, залежно від ваги поїзда, обумовленого типом перевезеного вантажу та типом вагонів. Показана доцільність застосування п'яти «категорій» з вагою 969, 4300, 6639, 7380 і 8096 тонн відповідно.

Аналіз роботи реальних залізничних ліній показує, що спостерігається добові коливання розмірів руху які пропускаються по лінії залежно від різного співвідношення випадкових факторів.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунків перегінних часів ходу для залізничної при електричній тязі (парний/непарний напрямок) часи ходу, хв

№ п/п	Назва перегонів	1 «категорія»	2 «категорія»	7 «категорія»	12 «категорія»	14 «категорія»
1	А-Б	9/11	9/11	9/11	9/10	9/9
2	б-в	8/8	8/8	8/8	8/8	8/8
3	в-г	16/16	16/16	16/16	16/16	15/16
4	г-д	10/11	10/10	10/10	10/10	10/10
5	ж-є	13/11	13/11	13/11	13/11	13/11
6	є-ж	14/11	14/11	14/11	14/10	14/10
7	ж-з	14/12	14/11	14/11	14/11	13/11
8	з-і	8/6	8/6	8/6	8/6	8/5
9	і-к	14/10	14/10	14/10	14/10	14/9
10	к-л	9/7	9/7	9/7	9/7	9/7
11	л-м	10/7	10/7	10/7	10/7	10/7
12	м-н	12/9	12/9	12/9	12/9	12/9
13	н-о	15/10	14/10	14/10	14/10	13/10
14	о-п	19/13	18/13	17/13	17/13	15/13
15	п-р	11/12	11/12	11/12	11/12	11/12
16	р-с	9/11	9/11	9/11	9/11	9/11
17	с-т	4/7	4/7	4/7	4/7	4/7
18	т-в	11/5	11/5	11/5	11/5	11/5
РАЗОМ		206/177	204/175	203/175	203/173	198/170

У процесі імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії ймовірність проходження вантажного поїзда по лінії в розглянутий інтервал часу між поїздами за графіком буде залежати від впливу «вікон», тривалості стоянок поїздів на технічних станціях, з урахуванням затримок поїздів від надання «вікон» і різного внутрішньодобового порядку пропуску поїздів різних «категорій», при забезпеченні їх заданого співвідношення.

У результаті кількість вантажних поїздів яке вдається пропустити за добу, стає випадковою величиною. Що дозволяє оцінити можливість освоєння прогнозованих обсягів перевезень. Таку оцінку пропонується давати ймовірністю P' відповідності протягом доби моделюючої пропускної здатності реконструйованої лінії [37]:

$$P'(P' \geq 3\sigma) = 1 - \Phi((N''_{\text{л}} - N'_{\text{л}}) / \sigma) \quad (2.4)$$

де $N''_{\text{л}}$ - потрібна пропускна здатність розглянутого напрямку руху (парне/непарне) реконструйованої залізничної лінії;

$N'_{\text{л}}$ - пропускна здатність розглянутого напрямку руху реконструйованої лінії, отримана на основі імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії;

σ - відхилення величини добових коливань розмірів руху, отриманих на основі імітаційного моделювання від потрібної пропускної здатності;

Φ - таблична функція стандартного нормального розподілу яка визначає відповідність моделюючої пропускної здатності реконструйованої лінії потрібній.

Висновок по розділу

У розділі обґрунтовані особливості імітаційного моделювання оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії які включають обґрунтування границь моделювання реконструйованої лінії, оцінку затримок від надання «вікон», облік характеристик руху вантажних поїздів і розрахунки ймовірності відповідності моделюючої пропускної здатності потрібній лінії .

Пропонується визначати границі моделювання реконструйованої залізничної лінії, які встановлюються відповідно до результатів аналізу втрат поїздо-годин заданим числом поїздів при русі по лінії до початку ремонтних робіт зі схеми: станція призначення - станція, що є «вузьким місцем» пропуску, плюс найближча технічна станція попередня їй.

Запропонований критерій визначення «вузького місця» на підставі використання статистичних даних про станції критичних тривалості стоянок поїздів і зниження швидкостей на підходах до них.

Показане що тривалість стоянок поїздів на технічних станціях визначається варіантом графіка надання «вікон» (8-мі, 10-ти, 12-ти і 24-х) і в

остаточному підсумку втратами потяго-годинника на лінії, що впливають на економічно доцільний варіант графіка надання «вікон» за критерієм мінімальних витрат з урахуванням можливості відхилення частини потягопотока на паралельні лінії ходу, при забезпеченні потрібної пропускної здатності.

3 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОПУСКУ ПОЇЗДІВ

3.1 Розробка процедури забезпечення пропуску вантажних поїздів

Оцінка пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії виконується на імітаційній моделі пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії в програмному комплексі.

Загальна блок-схема програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії, що ілюструє взаємодію двох основних модулів: модуля імітаційного моделювання процесів перевезень (ІМПП) і модуля планування ремонтних робіт (МППР) представлено на рис. 3.1.

Потреба в «вікнах» визначається модулем планування ремонтних робіт (МППР), що враховують дані служби шляхів про пропущений тоннаж по ремонтваній ділянці на перший рік початку планування ремонтних робіт залізничної колії, останній вид і строк виконаного ремонту.

Модуль МППР розраховує щорічні графіки проведення ремонтних робіт на весь період планування які містять дані про місяць, кількість і тривалості «вікон», а також ураховує обмеження швидкостей поїздів, обумовлених виконанням ремонтних робіт відповідно до Інструкції.

Ця інформація передається в модуль ІМПП, який буде за задану кількість доби моделюючи графіки руху поїздів по яких визначаються моделююча пропускна здатність реконструйованої залізничної лінії з урахуванням надання «вікон».



Рис. 3.1 – Загальна блок-схема програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії, що ілюструє взаємодію двох основних модулів: модуля імітаційного моделювання процесів перевезень (ІМПП) і модуля планування ремонтних робіт (МПРР)

перепробіги і затримки поїздів, які використовуються для визначення мінімальних сумарних витрат на затримки поїздів і шляхові роботи при змінах тривалості «вікон».

Вхідний до складу програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії модуль ІМПШ імітує рух не розрахункових, а реальних вантажних поїздів, з урахуванням руху частини поїздів за розкладом, особливостей системи інтервального регулювання, кількості і корисної довжини станційних колій, нерівномірності руху, в умовах наявності попереджень про зміни встановленої швидкості, надання «вікон» і при їхній відсутності.

В умовах приймання поїздів без затримок на технічні станції це дозволяє будувати моделюючі графіки руху поїздів для заданої кількості доби і визначати по них математичне очікування і довірчий інтервал розмірів руху, а також моделюючу пропускну здатність. Оскільки імітаційна модель пропуску поїздів по реконструйованій лінії визначає масу і тип вантажу, перевезеного кожним поїздом, це дозволяє визначати провізну спроможність реконструйованих залізничних ліній і ймовірність доставки всієї планованої номенклатури і обсягів вантажів за рік.

Імітаційна модель пропуску поїздів по реконструюванню залізничної лінії використовується для детального аналізу доцільності проведення заходів щодо організації руху поїздів (вибір станції для зміни виду тяги, паралельний графік, організація руху вантажних поїздів за розкладом, варіантні графіки при ремонтних роботах і т.д.).

За результатами імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструюванню лінії визначаються моделююча пропускну здатність реконструйованої залізничної лінії, дільничні, технічні і маршрутні швидкості поїздів різних категорій, маса перевезених вантажів і інші показники роботи залізничної лінії.

Для імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії використовуються наступні дані: прогнозовані річні обсяги перевезень

усіх типів вантажів, технічне оснащення реконструйованої залізничної лінії, параметри рухливого складу і поїздів, пропущений тоннаж по обстежуваній залізничній лінії, інформація про ремонти шляху, мінімальні станційні і інтервали з урахуванням параметрів систем автоматики і телемеханіки, тягове обслуговування.

Розвинена в даній роботі загальна схема інформаційного обміну програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії (рис. 3.3) показує взаємозв'язку модулів комплексу.

До складу програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії, крім модуля пропуску поїздів (ІМПП) і модуля планування ремонтних робіт (МППР) входить редактор даних, блоки якого дозволяють вводити дані про план перевезень, родах вантажів, параметрах поїздів і технічному стані реконструйованої залізничної лінії.

Технічний стан реконструйованої залізничної лінії може бути експортоване з редактора бази даних геоінформаційної транспортної мережі, яка є окремим програмним продуктом і зовнішнім джерелом даних. Перегінні часи ходу для поїздів з різною вагою і довжиною состава визначаються системою тягових розрахунків [8], яка також є зовнішнім джерелом даних і являють собою відомості перегінних часів ходу поїздів.

Вихідні дані і результати розрахунків зберігаються в базі даних *SQL*. Використання зовнішньої бази даних пов'язане з більшим обсягом статистичних даних, одержуваних у результаті імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованої лінії, який може досягати декількох Гігабайт. Для обробки даних використовуються зовнішні засоби обробки даних і підготовки звітів (таблиці Excel і ін).

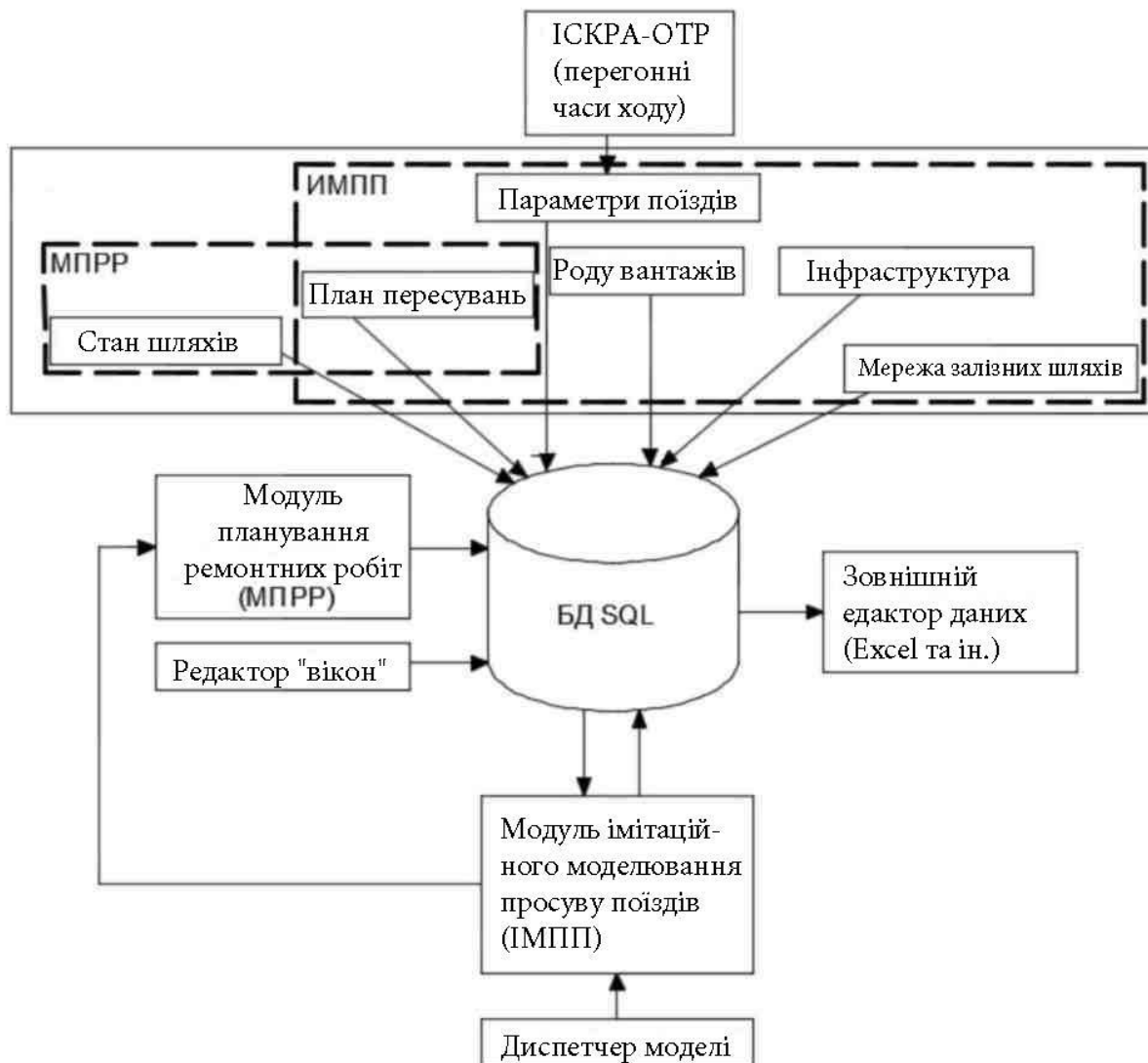


Рис. 3.3 – Структурна схема взаємодії модулів програмного комплексу імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії

При моделюванні поїзд пропускається за умови вільності блок-діляниць , що перевіряється картою станів, заснованих на пропуску поїздів по реконструйованим залізничним лініям за правилами перегінних і станційних систем інтервального регулювання, яка містить інформацію про тривалість заняття всіх блок-діляниць і ізолюваних секцій ділянки використовуваних для пропуску поїздів. При можливості вибору приймально-відправного шляху або маршруту проходження, вибирається маршрут який вимагає мінімальних витрат часу на проходження і мінімальних конфліктних пересувань.

Моделювання пропуску поїздів по обстежуваній залізничній лінії виконується за наступною технологією.

Відповідно до правил тягових розрахунків лінія ходу поїзда на графіку руху (нитка графіка) будується для центру ваги (ЦТ) поїзда (рис. 3.4).

Для відображення функціонування карти станів лінії ходу поїздів доповнюються позначеннями часів заняття ізолюваної ділянки головою поїзда (рис. 3.4.а) і звільнення хвостом поїзда (рис. 3.4.б). Ці лінії відповідають тривалостям пропуску поїзда на половину його довжини ($l_n/2$), обумовленим тяговим розрахунками.



Рис. 3.4 – Позначення часів заняття і звільнення поїздом ізолюваних ділянок

Алгоритм функціонування карти станів модуля ІМПІ (рис. 3.5) включає взаємодію моделюючого графіка руху поїздів з діаграмою розташування ізолюваних ділянок, заняття і звільнення яких визначають передані в них коди локомотивної сигналізації і показання світлофорів. Карта станів дозволяє імітувати тимчасові параметри руху поїздів при їхньому зближенні, враховуючи показання локомотивних світлофорів.

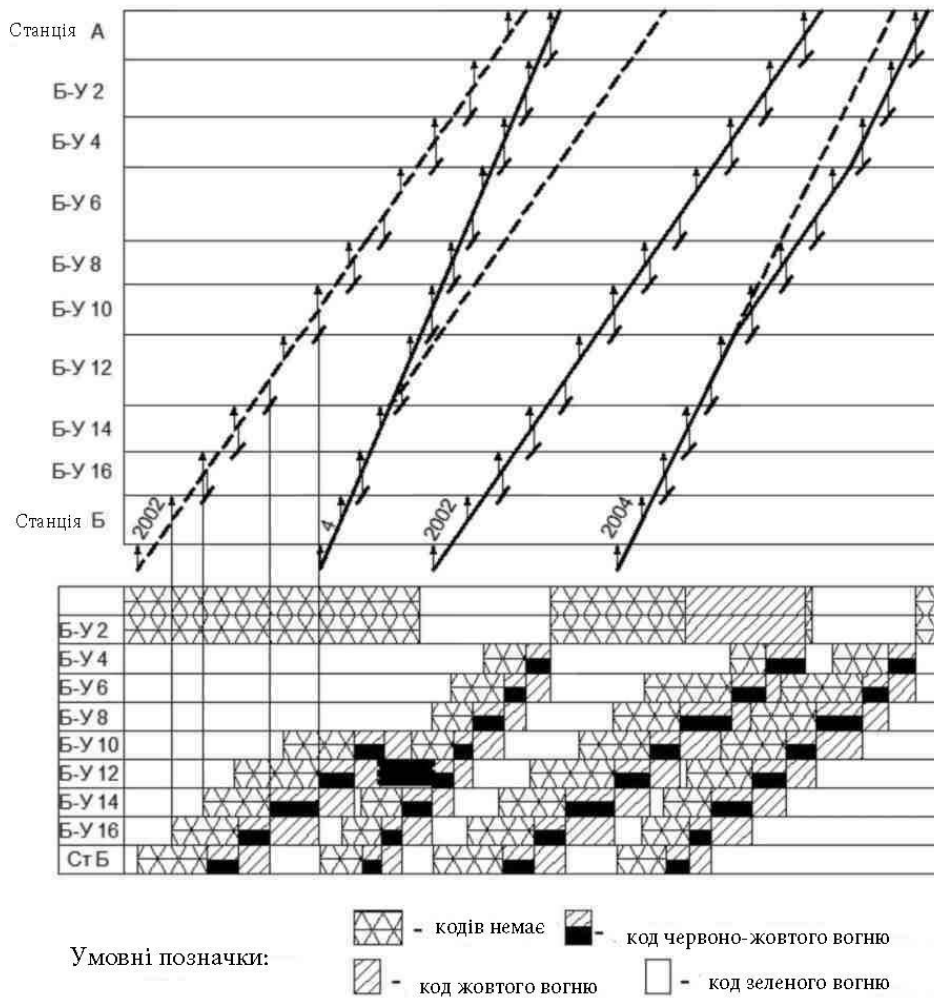


Рис. 3.5 – Приклади пропуску поїздів і їх відображення на графіку руху і карті станів при тризначнім автоблокуванні без захисних ділянок

Рух хвоста поїзда по блок-ділянках супроводжується зміною показань локомотивного світлофора. Це відображається переміщенням по карті станів лівої грані прямокутників із трикутним штрихуванням (рис. 3.5), відповідної до відсутності кодів на розташованому за поїздом ізольованій ділянці.

На рис. 3.5 представлені приклади пропуску поїздів і відповідні їм фрагменти графіка руху і карти станів залізничної ділянки, обладнаного тризначнім автоблокуванням без захисних ділянок.

Тривалості горіння на локомотивних світлофорах червоного вогню позначені на карті станів прямокутником із трикутним штрихуванням, жовтого вогню із червоним – чорна смуга зі штрихуванням, жовтого вогню – штрихуванням (на прохідному світлофорі горить зелений вогонь, поїзд іде із зеленого на жовтий), а зеленого вогню – відсутністю цих позначень (на

прохідному світлофорі горить зелене світло, поїзд іде із зеленого на зелений). При в'їзді поїзда на блок-дільницю перед світлофором з жовтим вогнем позначення червоного вогню на попередньому світлофорі доповнюється світлими лініями. Це відповідає зіткненню на карті станів прямокутників які позначають горіння червоного і жовтого вогнів на світлофорах сусідніх блок-дільниць.

Тривалість подачі коду КЖ у блок-дільницю визначається від моменту вступу голови поїзда на блок-дільницю до звільнення хвостом поїзда цієї блок-дільниці. Жовтий вогонь із червоним на локомотивному світлофорі загоряється в момент звільнення хвостом поїзда даного блок-дільниці, жовтий вогонь на локомотивному світлофорі загоряється в момент звільнення хвостом поперед поїзда, який йде до третьої блок-дільниці і переміняється на зелений у момент звільнення хвостом поїзда наступної блок-дільниці.

У процесі імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії поїзд № 2002 (див. рис. 3.5) не пропустити перед пасажирськими поїздом № 4, тому що під час заняття поїздом № 2002 четвертої блок-дільниці поїзд № 4 появлявся би по шостій блок-дільниці на жовтий вогонь із червоним локомотивного світлофора. Тому повільно ідущій вантажний поїзд №2002 у такій ситуації не пропускається (штрихова лінія). Цей інтервал не використовується, а вантажний поїзд пропускається в перший достатній для нього інтервал між поїздами нанесеними на карту станів. Для поїзда № 2002 це стає можливим за поїздом №4.

На рис. 3.5 показане проходження по перегону поїзда №2004 слідом за поїздом № 2002. На п'ятій блок-дільниці поїзд № 2004 наганяє поїзд № 2002 і тому три блок-дільниці прямує на жовті вогні із червоним локомотивних світлофорів зі швидкістю не більш 60 км/год, у випадку використання режиму який дозволяє знижувати швидкість на перегоні. При занятті поїздом № 2004 другої блок-дільниці на спереду розташованому локомотивному світлофорі горить зелений вогонь, тому далі поїзд появляється із установленою швидкістю.

Якщо режим який дозволяє знижувати швидкість на перегоні, не використовується, вантажний поїзд №2004 буде пропущений зі станції Б у інтервал, який дозволяє проїхати вся залізничні ділянки із зеленого на зелений.

У рамках дослідження розроблений алгоритм розширення можливостей карти станів (рис. 3.6), у частині обліку розташування захисних ділянок тризначного автоблокування. При автоблокуванні із захисними ділянками тривалість горіння червоного вогню збільшується на час руху поперед поїзда, який їде по захисній ділянці, розташованій за світлофором, які обгороджують наступну блок-дільницю із червоним вогнем.

При вступі поїзда №2016 на блок-дільницю 6 б/у, передача кодів в 8 б/у припиняється, а при вступі на 4 б/у, припиняється кодування і 6 б/у. У момент звільнення поїздом 2016 захисної ділянки (4 ЗУ) на 6 б/у, в 8 б/у подається код червоно-жовтого вогню (ЧЖ) (жовтий вогонь із червоним локомотивного світлофора), при звільненні поїздом №2016 6б/у в 8б/у подається код жовтого вогню (Ж) (жовтий вогонь локомотивного світлофора), а при звільненні поїздом 2016 4б/у в 8б/у подається код зеленого вогню (З) (зелений вогонь локомотивного світлофора) і т.д. При відкритті вхідного світлофора (Ч) поїзду №2016 для приймання на шлях 4 в 2б/у починає надходити код (Ж) (жовтий вогонь вхідного світлофора), а від вихідного світлофора (Ч2) із червоним вогнем у шлях 4 і вхідну горловину – код (ЧЖ) (червоний вогонь вихідного світлофора). При надходженні поїзда №2016 на 2 б/у на локомотивному світлофорі загоряється жовтий вогонь, а при проїзді вхідного світлофора (Ч) - жовтий вогонь із червоним.

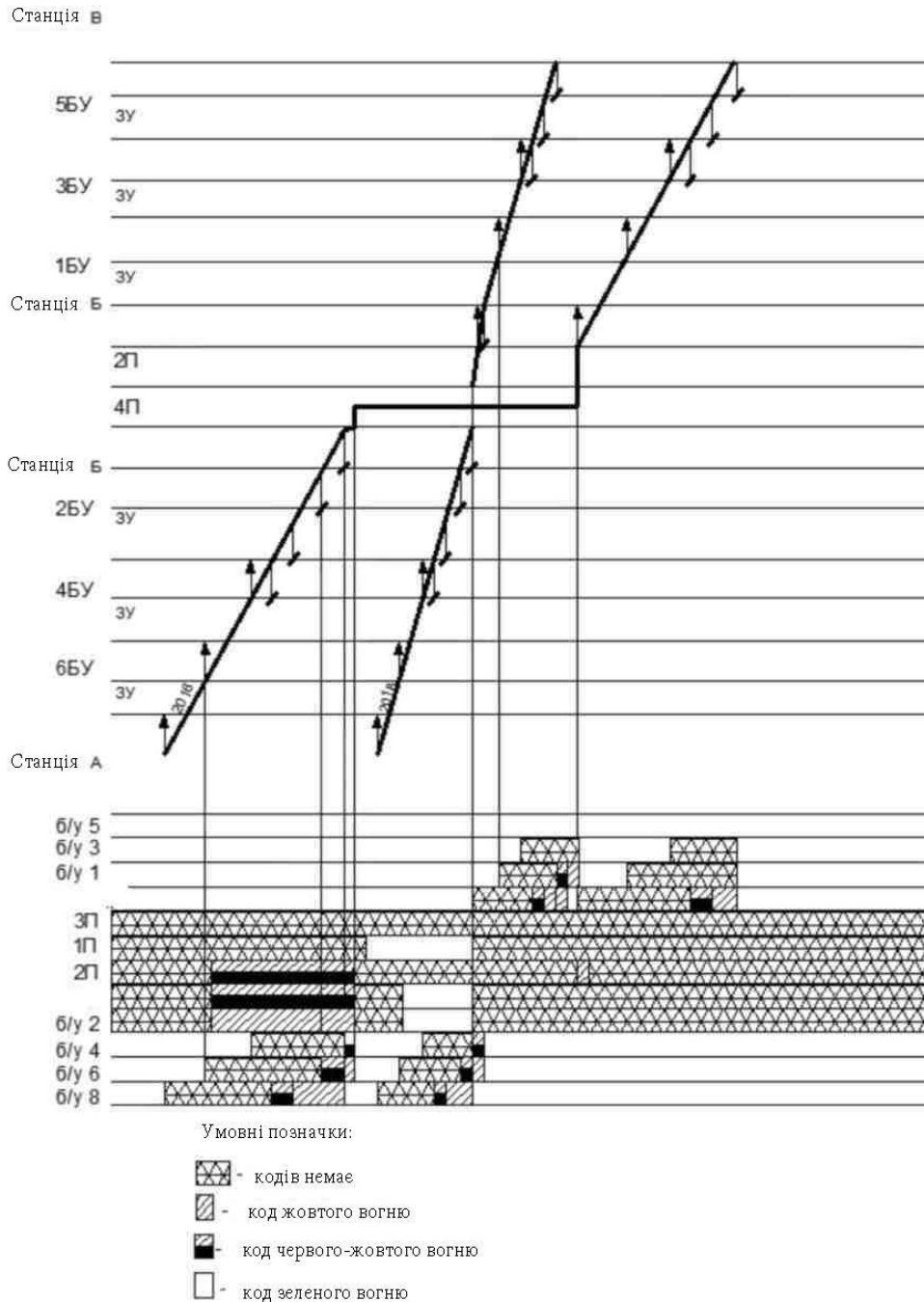


Рис. 3.6 – Організація обгону поїзда на моделюючому графіці руху і карті станів ІМПП, при наявності захисних ділянок тризначного автоблокування

При відкритті парного вхідного світлофора (Ч) поїзду №2018 для наскрізного пропуску по шляху 1 в 2б/у, а від вихідного світлофора (Ч2) у шлях 4 і вхідну горловину починає надходити код (3) (зелений вогонь вхідного світлофора).

Вхідний світлофор для наскрізного пропуску поїзда №2018 по 1 головному шляхові відкривається після звільнення вихідної горловини поїздом

№2016 і розмикання стрілок. Вихідний світлофор поїзду №2018 слід відкривати завчасно за умови вільності 1б/у або 1б/у і 3б/у. Вихідний світлофор поїзду №2016 на жовтий вогонь стає можливим відкрити після звільнення поїздом №2018 1б/у або на зелений вогонь при звільненні 1б/у і 3б/у.

Модель ураховує мінімальні станційні інтервали і додаткові витрати часу на затримку, стоянку і розгін поїздів при зупинках на станціях. Для будь-яких залізничних ліній з високим значенням коефіцієнта використання наявної пропускної здатності в ІМПІ передбачена можливість використання паралельного графіка руху поїздів. На початку процесу моделювання пасажирські, приміські вантажні поїзди, що задаються користувачем, пропускаються за розкладом. Між цими поїздами імітується пропуск інших вантажних поїздів [44] відповідно до алгоритму (рис. 3.7).

Для оцінки ймовірності забезпечення перевищення моделюючої пропускної здатності реконструйованій залізничній лінії над потрібною, порядок пропуску вантажних поїздів у ІМПІ пропонується ухвалювати рівними часткам поїздів з певними типами вантажів від загальної кількості вантажних поїздів (рис. 3.8).

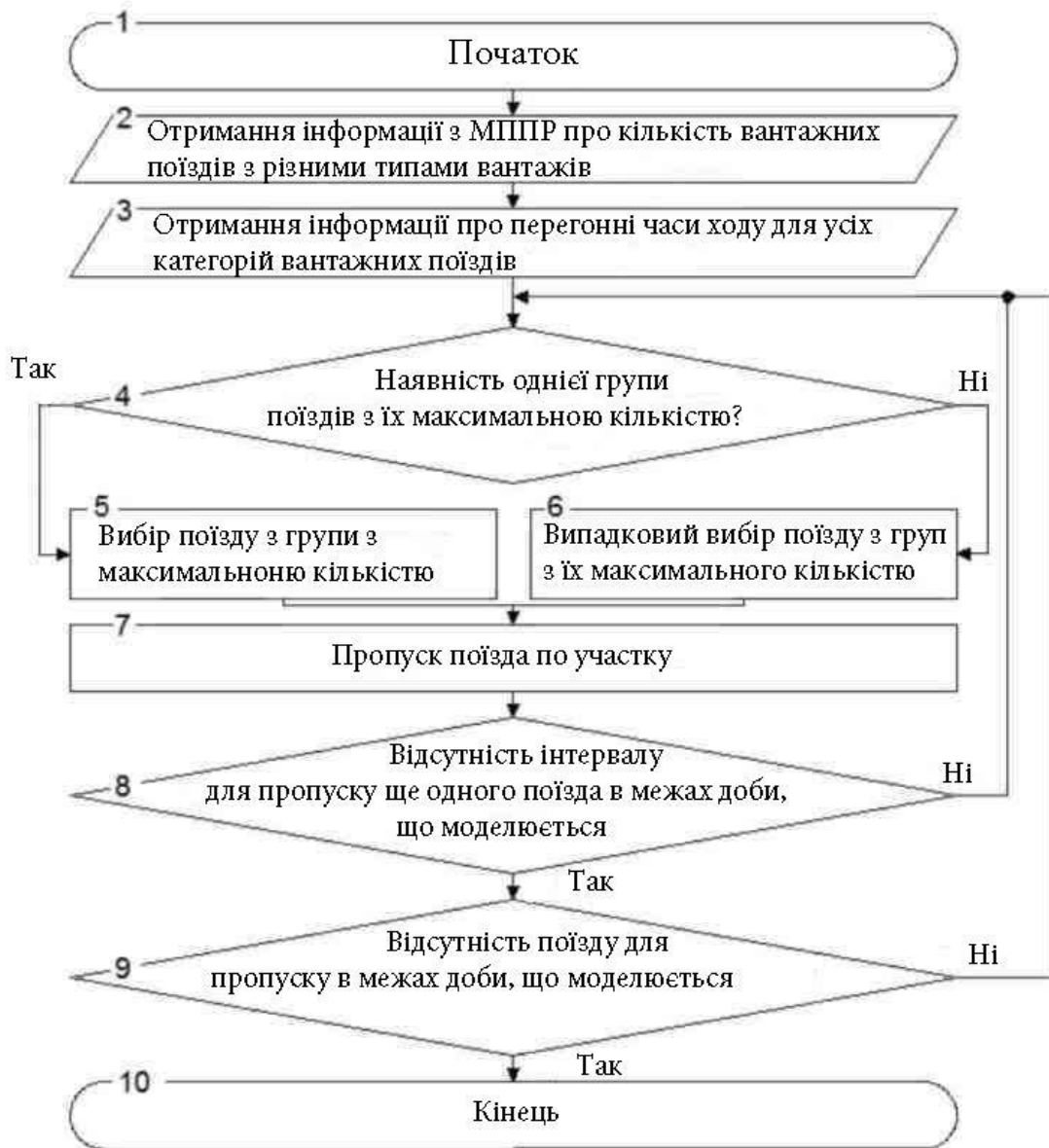


Рис. 3.7 – Блок-схема алгоритму пропуску вантажних поїздів у модулі ІМПП

Частки поїздів які задаються на перспективу у добу, з і-м типом вантажу j-й рік, визначаються по формулі:

$$\alpha_{rij} = N_{rij} / \sum_{i=1}^k N_{rij}, \forall ij \quad (3.1)$$

де N_{rij} - кількість поїздів з і-м типом вантажу, планованих до перевезення за добу j-й рік;

k - кількість типів вантажу, перевезених за j-й рік.

Спочатку пропускаються поїзди з «категорії» (α_{pr1j}), які володіють максимальним пріоритетом (рис. 3.8,а). При досягненні рівності кількості поїздів в «категоріях» (α_{pr2j}) поїзда випадковим образом вибираються з обох «категорій» (рис. 3.8,б). Після досягнення рівності їх кількостей в обидві «категоріях» з кількістю поїздів у наступній «категорії» (α_{pr3j}) вибір проходить із трьох «категорій» і так далі до останнього поїзда в «категорії» з мінімальним пріоритетом (α_{prkj}) або до відсутності можливості пропуску ще одного поїзда який залишився.

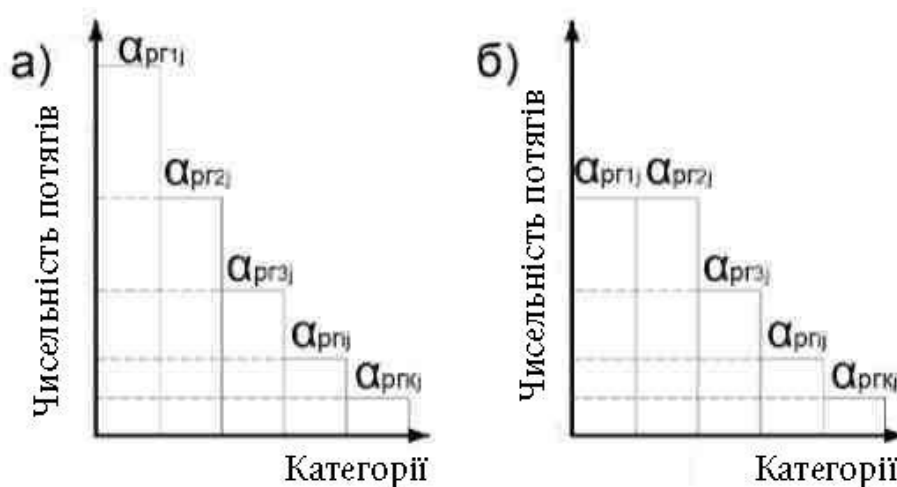


Рис. 3.8- Алгоритм обробки поїздів в імітаційній моделі пропуску поїздів по реконструйованій лінії, відповідно до «категорій»

Запропонована процедура обробки поїздів в імітаційній моделі пропуску поїздів по реконструйованій лінії дозволяє промодельовати пропуск заданої кількості вантажних поїздів з різними перегінними часами ходу протягом доби і забезпечує оцінку модельованої пропускнуої здатності реконструйованої залізничної лінії в умовах нерівномірності руху, обумовленої пропуском вантажних поїздів з різною вагою.

У процесі імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії черговий вантажний поїзд може бути пропущений по перегону, якщо він не затримує поїзд за розкладом. При можливості такої затримки черговий поїзд обганяється на попередній станції і через задані

інтервали часу повторюються спроби його подальшого пропуску. Стоянка поїзда чекаючи пропуску обмежується настроюваннями моделі (максимальний час непродуктивних простоїв на станції, на яке може бути перевищений час стоянки поїзда на станції для виконання технологічних операцій - задається дискретно або законом розподілу) і у випадку перевищення заданого часу стоянки, спроби пропустити поїзд припиняються. Ця подія фіксується на карті станів моделюючої лінії. Непродуктивні простоя чекаючи відправлення мають місце, як правило, на станціях зміни локомотивів і локомотивних бригад, сортувальних станціях.

У наступний інтервал, робиться спроба пропустити черговий поїзд, але тільки після пропуску попереднього поїзда і не раніше наміченого часу відправлення. Модель передбачає можливість імітаційного моделювання пропуску поїздів по реконструйованій лінії в добу заданого або максимальної кількості вантажних поїздів усіх «категорій».

На вхідній до складу модуля ІМПП карті станів спочатку фіксуються лінії ходу поїздів, які пропускаються за розкладом, потім виконується спроба пропустити по залізничній лінії вантажний поїзд, обраний залежно від частки поїздів з різною вагою, з початку доби в першому інтервалі між пропущеними поїздами. У режимі пропуску заданого кількості в добу, вантажні поїзди відправляються з початкових станцій залізничної лінії через випадкові інтервали часу. Поїзд пропускається за умови вільності блок-діляниць і ізольованих секцій, які перевіряються картою станів.

У моделі передбачається можливість пропуску не пропущених поїздів у наступну добу. У режимі пропуску максимальної кількості вантажних поїздів у добу, часи появи вантажних поїздів на вході системи спочатку не задаються, а порядок їх пропуску визначається, як і в попередньому режимі. Поїзд пропускається по залізничній лінії в найближчий інтервал модельного часу і реалізує черга типу *FIFO* – «перший увійшов – перший вийшов». Можливості пропуску кожного поїзда перевіряються з початку доби, що забезпечує використання кожного достатнього інтервалу часу підходящим по параметрах

поїздом. Станції обгонів і схрещень вибираються з обліком, що враховує перегінний час ходу і станційний інтервал, нормативні тривалості виконання станційних технологічних операцій, мінімізації стоянок і не перевищення заданої тривалості стоянки. Установлені швидкості ухвалюються постійними з обліком їх зниження для забезпечення безпеки ремонтів шляхи. Пропущений по лінії поїзд фіксується на карті станів. Імовірність проходження вантажного поїзда по лінії виходить залежною від його ходових властивостей і тривалості, що залишилися йому інтервалів на карті станів.

У результаті кількість вантажних поїздів, яке вдається пропустити за добу в обох режимах, стає випадковою величиною, оскільки залежить від черговості пропуску поїздів з різними ходовими властивостями. Це дозволяє оцінити ймовірність забезпечення перевищення моделюючої пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії потрібної для непарного напрямку в умовах надання «вікон» (рис. 3.9) і ілюструє вираження (2.4).

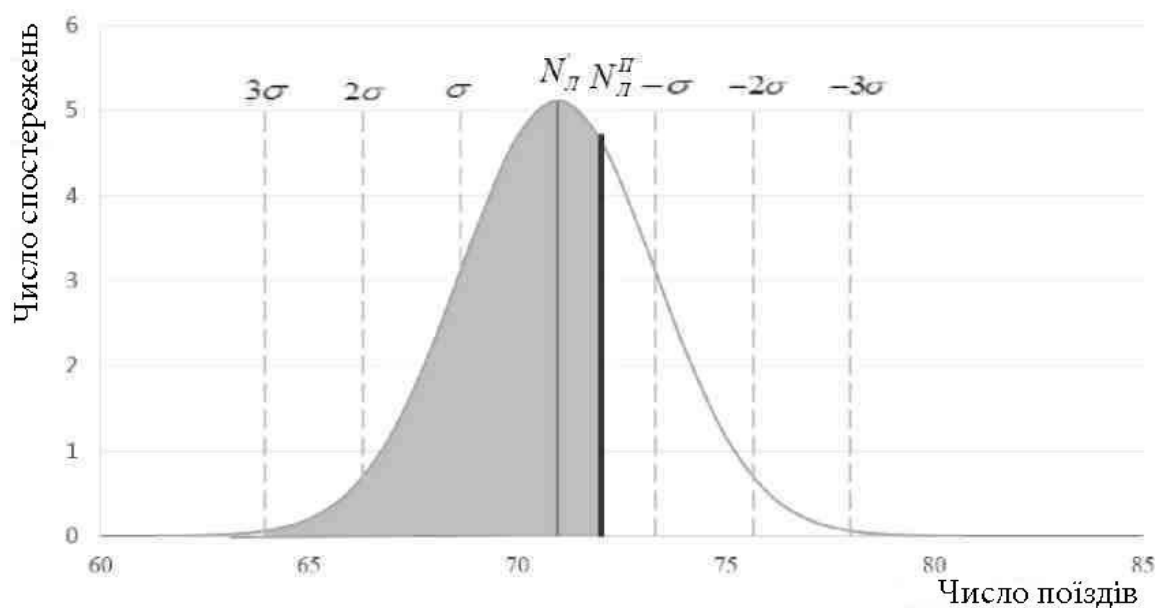


Рис. 3.9 – Результати оцінки відповідності моделюючої потрібної пропускної здатності реконструйованої лінії

3.2 Алгоритм визначення періодичності ремонтів залізничної колії

Модернізація і ремонт залізничної інфраструктури вимагають надання «вікон», що знижують моделюючу пропускну здатність реконструйованих залізничних ліній.

Для оцінки моделюючої пропускну здатності реконструйованої залізничної лінії, затримок поїздів і можливості відхилення частини поїздопотоків на паралельні залізничні лінії ходу в умовах надання «вікон» різної тривалості для ремонтів залізничної колії за допомогою імітаційної моделі пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії [26-37] необхідно визначити потребу в «вікнах» для ремонту залізничної колії при використанні модуля планування ремонтних робіт (МППР) при різних системах організації руху реконструйованої залізничної лінії.

У модуль МППР водиться нормативно довідкова інформація про класи, групи і категорії шляхів, видах ремонтів і місті шляхових робіт, нормативах і схемах проведення ремонтів, масі навантажених і порожніх поїздів, які перевозять плановані типи вантажів, а також дані про стан шляху на початок періоду планування, що включає пропущений тоннаж і рік попереднього основного виду ремонту.

До теперішнього часу, у довідники МППР ведена інформація яка класифікує шляхи залежно від вантажонапруженості, максимальних швидкостей і умов забезпечення безпеки руху поїздів.

Модуль МППР розраховує кількість навантажених і порожніх поїздів, які необхідно щодоби в щорічний період планування пропускати по реконструйованій залізничній лінії для забезпечення перевищення моделюючої пропускну здатності реконструйованої залізничної лінії над потрібною. При цьому використовується інформація про вантажні поїзди які перевозять усю плановану номенклатуру вантажів.

Результатом роботи МППР є графік ремонтів (рис. 3.10), який розраховується на період планування.

обох напрямках руху по сусідньому шляхові, що збільшує тоннаж, який пропускається по ньому і скорочує інтервали між майбутніми видами ремонтів.

Перший поїзд після «вікна» для проведення ремонтних робіт появляється зі швидкістю не більш 25 км/год, починаючи із другого поїзда на період проведення опоряджувальних робіт швидкість збільшується до 60 км/год, до відновлення її встановленого значення.

Імітаційна модель пропуску поїздів по реконструйованій залізничній лінії дозволяє врахувати заходи щодо форсування наявної пропускної і провізної здатності на період надання «вікон», до яких ставиться: застосування пристроїв, що дозволяють забезпечити рух поїздів по сигналах; організація двостороннього пакетного руху поїздів у період «вікна» на тимчасово одноколіїному перегоні і організація обігу з'єднаних поїздів.

Основний вид ремонту призначається на поточний рік, якщо пропущений тоннаж досягає норми або, якщо настав строк проведення ремонту, при вирахуванні міжремонтного циклу в роках. Проміжні види ремонтів розподіляють між основними рівномірно по роках або по пропущеному тоннажу.

До основних видам ремонтів відносяться:

1. Модернізація (реконструкція) залізничної колії (Р) або капітальний ремонт на нових матеріалах;
2. Капітальний ремонт (K_{pc});
3. Заміна стрілочних переводів ($K_{сп}$).

Проміжні види ремонтів включають:

1. Середній ремонт (З);
2. Планово-запобіжний ремонт (В);
3. Суцільна заміна рейок і металевих частин стрілочних переводів (РС);
4. Шліфування рейок (Ш).

Основний вид ремонту шляху призначається на поточний рік, якщо пропущений тоннаж до поточного року перевищить норму:

$$\sum_{j=1}^{j \leq n} G_C^j > G_{CH} \quad (3.2)$$

де G_{CH} - норма пропущеного тоннажу, що встановлює строк капітального ремонту шляху;

Норми пропущеного тоннажу коректуються залежно від додаткових умов [26]. Сумарне зменшення нормативних строків не повинне перевищувати 25% при вирахуванні нормативного наробітку тоннажу (для перевальних ділянок не більш 40%). Існує алгоритм визначення періодичності ремонтів залізничної колії представлений у роботі [39].

Після визначення строків виконання ремонтних робіт з років розглянутого періоду для кожного виду ремонту розробляються графіки проведення ремонтних робіт, із вказівкою місць, дат і тривалості.

3.3 Розробка алгоритму вибору економічно доцільного варіанта

На мережі залізниць застосовуються дві основні технології організації робіт з ремонту шляху:

1. Виконання робіт в «вікна» тривалістю 8, 10 і 12 годин.
2. Закриття перегону на весь період проведення ремонтних робіт.

Вибір варіанта проведення ремонтних робіт пов'язаний з рівнем використання наявної пропускної здатності і наявністю паралельних залізничних ліній ходу.

Найбільша продуктивність ремонтних робіт досягається на закритому перегоні, а найменша – в умовах надання «вікон» тривалістю 8 годин. Це пов'язане з тим, що зі збільшенням тривалості «вікон» знижуються втрати часу і енергії на доставку шляхових машин до місця робіт і назад, розгортання і згортання робіт, що забезпечує їх більш високу продуктивність.

Оскільки кожне «вікно» надається в окрему добу, то при закритті перегону скорочується не тільки загальна тривалість ремонтних робіт, але і кількість доби знаходження шляхової техніки на ремонтованій ділянці. Це

дозволяє збільшити річну продуктивність за рахунок використання ремонтних комплексів на інших ділянках.

При закритті перегону роботи ведуться цілодобово. Експлуатаційні витрати і витрати на порожній пробіг робочих поїздів знижуються в 1, 5-2 рази [36], а потреба в локомотивах для поїздів – на 70%. Недоліком даної технології є зниження наявної пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії через тривалий пропуск поїздів по одному шляху двокільного перегону в обох напрямках руху і збільшення поїздо-годин простою і руху вантажних і пасажирських поїздів у порівнянні з «вікнами» меншої тривалості.

При наданні «вікон», поїзда не пропущені в добу проведення ремонтних робіт, пропускаються в наступну добу по ремонтваній залізничній ділянці, протягом яких ремонтні роботи не проводяться. Це викликає необхідність проведення ремонтних робіт з інтервалом у кілька доби залежно від розмірів руху ремонтваної залізничної ділянки.

Ремонт на закритому перегоні аналогічно може виконуватися поетапно – перегін закривається не на весь період ремонту, а на кілька доби (2-3 доби), потім роботи припиняються для пропуску поїздопотоку протягом декількох доби і так до завершення ремонту всього ділянки.

Економічне обґрунтування оптимальної тривалості «вікон», визначалося по мінімуму сумарних витрат у період надання «вікон» з урахуванням можливості відхилення частини поїздопотоку на паралельні лінії.

Алгоритм вибору економічно обґрунтованого варіанта графіка надання «вікон» в умовах коливання моделюючої пропускної здатності (рис. 3.11).

Запропонований алгоритм (рис. 3.11), дозволяє вибрати економічно доцільний варіант графіка надання «вікон» для розглянутої залізничної лінії, в умовах скорочення потреби в «вікнах» від сполучення ремонтних робіт.

Витрати від затримок поїздів (C_3) визначаються по формулі [40]:

$$C_3 = c_{3z} T_3 n_{ок}, \quad (3.3)$$

де c_{32} – укрупнена видаткова ставка поїздо-години простою для власних і орендованих вагонів на електротязі ;

T_3 – затримки вантажних поїздів, викликані наданням «вікон», поїздо-годинник;

$n_{ок}$ – кількість «вікон» заданої тривалості для ремонту ділянки.

У випадку відсутності можливості пропустити весь поїздопотік по ремонтваній ділянці, враховуючи тимчасовий рух по одному шляху двоколійного перегону, частина поїздів направляється в обхід місця провадження робіт, у випадку наявності паралельної залізничної лінії ходу.

Додатковий поїздо-годинник руху вантажного поїзда, при проходженні «кружністю» Δt будуть дорівнювати:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (3.4)$$

де t_1 – час проходження вантажного поїзда по ремонтваній лінії, год;

t_2 – час проходження вантажного поїзда по обхідному маршруту, год.

У розглянутому прикладі $\Delta t = 14$ ч.

Витрати від пропуску поїздів «кружністю» складуть:

$$C_k = \Delta t n_{ок} (c_{32} n_{к2} N_{к2} + c_{3п} N_{кп}) \quad (3.5)$$

$n_{к2}$ – кількість вагонів у вантажному поїзді;

$N_{к2}$ – кількість вантажних поїздів, що проходять «кружністю»;

$N_{кп}$ – кількість пасажирських поїздів, що проходять «кружністю»;

$c_{3п}$ – укрупнена видаткова ставка поїздо-години простою пасажирського поїзда від надання «вікон».

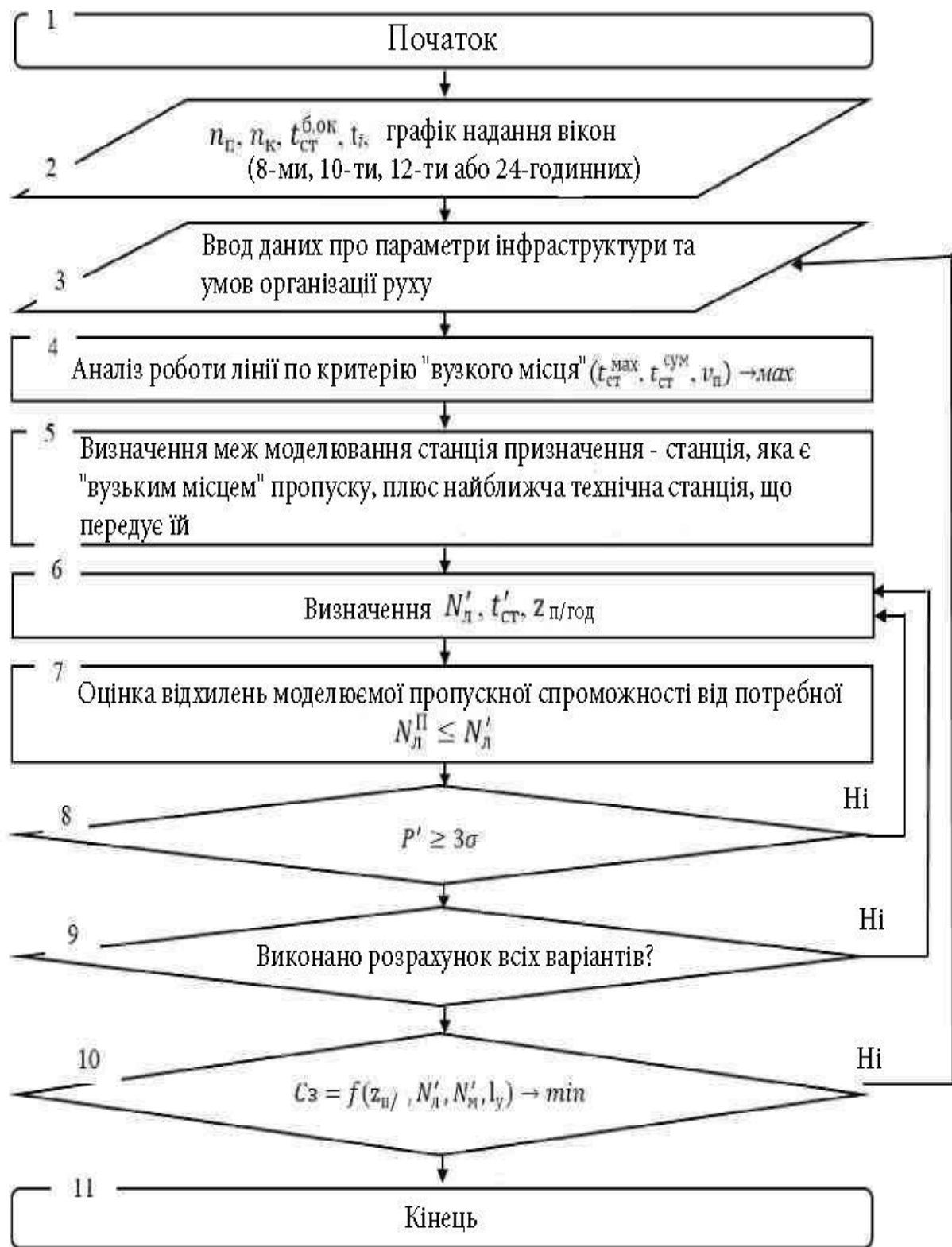


Рис. 3.11 – Алгоритм вибору економічно доцільного варіанта графіка надання «вікон»

Якщо по паралельній залізничній лінії не можна пропустити весь поїздопотік, який вимагає відхилення з ремонтваної ділянки, то розглядаються тільки «вікна», тривалості яких забезпечують освоєння всього поїздопотіку.

Якщо всі тривалості «вікон» не забезпечують освоєння заданого поїздопоток, то вибирається їхня мінімальна тривалість для проведення модернізації залізничної колії, рівна 8 годин, а інтервал між цілодобово надання «вікон» збільшується. Тому що метою роботи не є розробка варіантних графіків руху поїздів, то для спрощення розрахунків скасування пасажирських поїздів не розглядалося і вплив цих витрат на оптимальну тривалість «вікна» для проведення ремонтних робіт не враховувався. Графік руху пасажирських поїздів був заданий таким чином, щоб надання «вікон» на кожному з розглянутих перегонів на нього не вплинула.

Витрати на виконання ремонтних робіт визначаються по формулі:

$$C_{ок} = c_{ок} n_{ок} \quad (3.6)$$

де $c_{ок}$ – вартість проведення одного «вікна» заданої тривалості.

Вартості проведення одного «вікна» заданої тривалості (таблиця 3.1) були отримані на основі аналізу кошторисної вартості ремонту реальних залізничних ділянок, виконаних в 2019 році. Вона не враховувала вартість матеріалів для проведення ремонту залізничної колії, оскільки вона змінюється в широкому діапазоні, залежно від місця проведення ремонтних робіт, що викликане різними постачальниками і вартістю доставки матеріалів до місця робіт.

Таблиця 3.1 – Вартість проведення одного «вікна» заданої тривалості при модернізації залізничної колії

Тривалість «вікна», год	$c_{ок}$, грн.
8	100978
10	100980
12	100983
Закриття перегону (24)	400170

Незважаючи на незначну різницю вартості проведення одного «вікна» при модернізації залізничної колії для 8, 10 і 12-ти вартових «вікон», скорочення їх потрібної кількості при збільшенні тривалих наданих «вікон» для

ремонту залізничної ділянки заданої довжини (рис. 3.12) приводить до зниження вартості проведення ремонтних робіт.

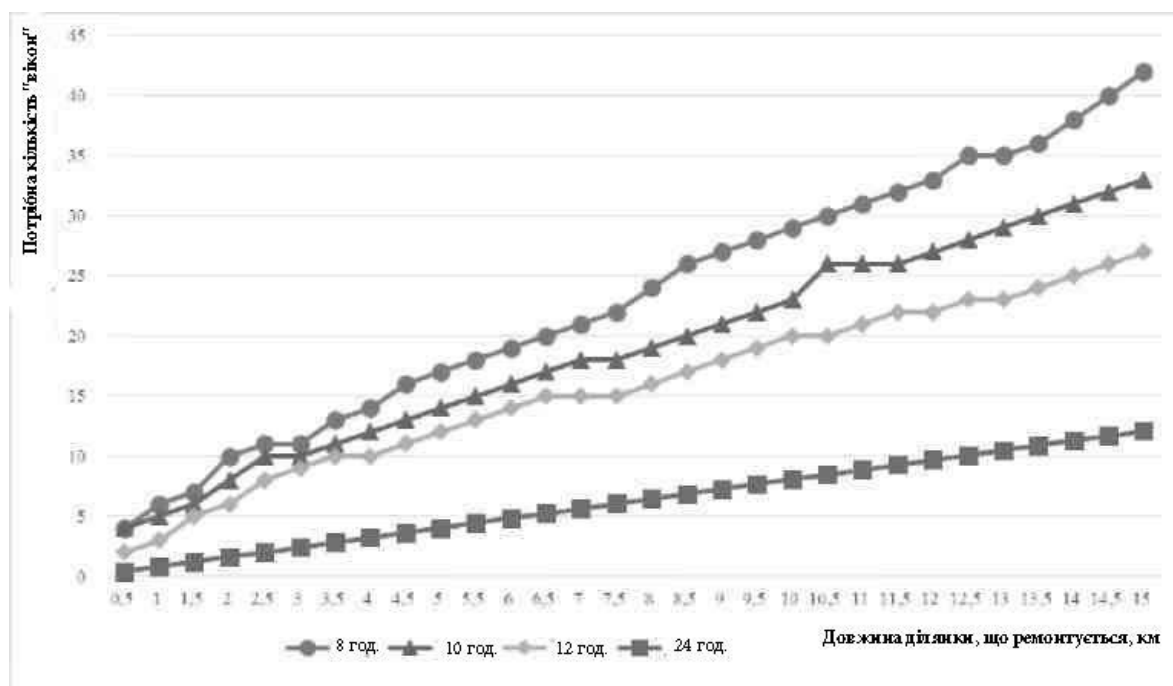


Рис. 3.12 – Кількість «вікон» для ремонту залізничної ділянки заданої довжини

Установлене, що кількість восьмигодинних робіт «вікон» для залізничної колії яка скорочуються за рахунок сполучення і збільшується з довжиною ремонтної ділянки. Наприклад, на ділянці довжиною 3 км становить 2 «вікна», а на ділянці довжиною 12 км – 23, це необхідно враховувати при автоматизації розрахунків економічно доцільної тривалості «вікон».

Пропоновані алгоритми були випробувані на прикладі залізничної ділянки А-З розглянутої залізничної лінії, обладнаного тризначним автоблокуванням, на проміжних станціях якого є по два приймально-відправні шляхи, а на технічних станціях А і З – по сім. На технічній станції З відбувається зміна локомотивних бригад тривалістю 40 хв.

План і профіль залізничної колії для тягових розрахунків прийняті по даним одного із залізничних ділянок, для якого системою тягових розрахунків [8] визначені перегінні часи ходу (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Характеристики залізничної ділянки

Назва перегону	Довжина перегону, км	Час ходу непарного вантажного поїзда, хв.	Час ходу парного вантажного поїзда, хв.
А-Б	9,4	10	9
Б-В	9,1	8	8
В-Г	14,6	16	16
Г-Д	5,3	11	10
Д-Е	9,9	11	13
Е-Ж	11,8	10	14
Ж-З	4,0	5	10

Результати розрахунків втрат поїздо-годин ($z_{п/ч}$) залежно від варіанта графіка надання «вікон» (рис. 3.13) на залізничній ділянці А-З при різних розмірах руху і тривалості «вікон» в умовах пропуску 30 пар пасажирських поїздів.

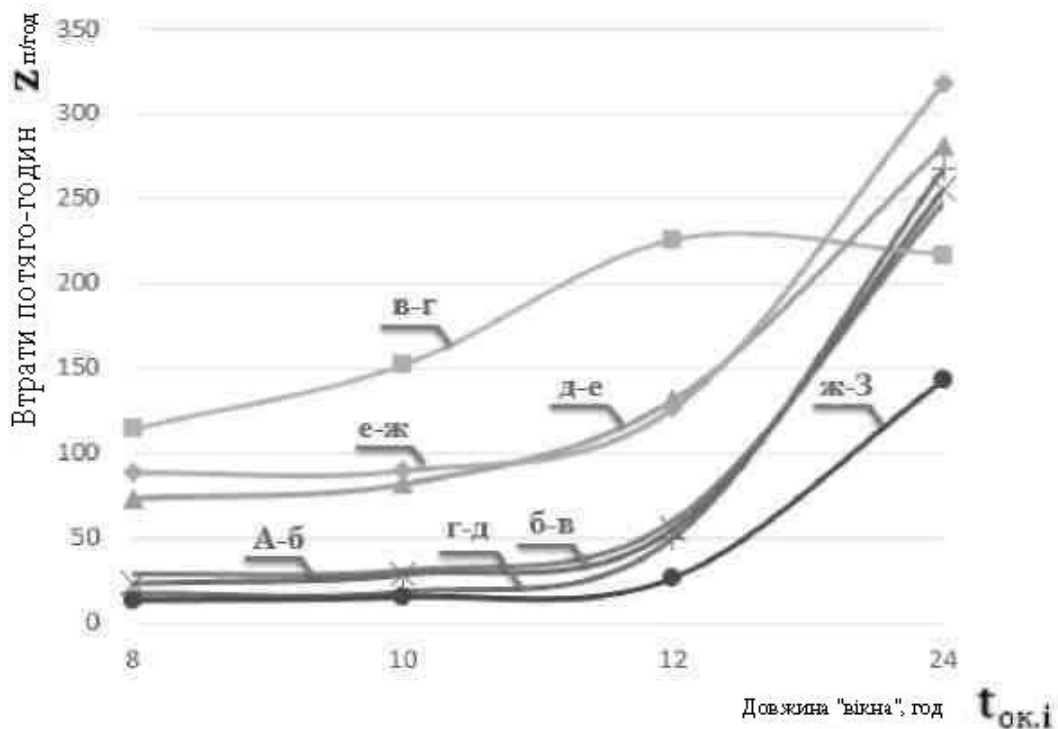


Рис. 3.13– Результати розрахунків втрат поїздо-годин ($z_{п/ч}$) залежно від варіанта графіка надання «вікон»

Зниження затримок для 24- годинного «вікна», у порівнянні з 12- годинним, для перегону в-г, обумовлене тим, що цей перегін є обмежуючим і надання «вікна» для його ремонту викликає необхідність відхилення на

паралельний залізничний напрямок більшого числа поїздів у порівнянні з ремонтом інших перегонів, що викликає скорочення втрат поїздо-годин. Перевірка адекватності розробленої імітаційної моделі підтверджує її працездатність і можливість застосування при розв'язку завдань дослідження.

Висновки по розділу

Розроблена імітаційна модель пропуску поїздів по реконструйованій лінії, яка включає: обґрунтування границь моделювання; оцінку затримок від надання «вікон», облік характеристик руху вантажних поїздів і розрахунки ймовірності відповідності моделюючої пропускної здатності потрібної лінії. Для перевірки можливості пропуску поїзда в черговий інтервал часу по залізничній лінії, розроблена карта станів, заснована на пропуску поїздів по залізничних ділянках за правилами перегінних і станційних систем інтервального регулювання, яке враховує наявність захисних ділянок тризначного автоблокування, а також пропуск вантажних поїздів у районні парки станції без переробки і з переробкою.

Розроблений алгоритм вибору економічно обґрунтованого варіанта графіка надання «вікон» в умовах коливання моделюючої пропускної здатності. Модернізація і ремонт залізничної інфраструктури вимагають надання «вікон», що знижують наявну пропускну здатність реконструйованих залізничних ліній.

Практична значимість імітаційної моделі полягає в можливості одержання прогнозних значень пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії в умовах різного технічного оснащення і системи організації руху. Це дозволить об'єктивно оцінювати можливості залізничних ліній по забезпеченню потрібної пропускної здатності.

Перевірка адекватності розробленої імітаційної моделі підтверджує її працездатність і можливість застосування при розв'язку завдань дослідження.

ВИСНОВОК

Аналіз наукових досліджень в області визначення пропускної здатності залізниць показав, що пропускна здатність визначається по обмежуючих перегонах і окремим елементам шляхового розвитку станцій (парки, горловини, сортувальні і вантажні пристрої), що виключає можливість визначати максимальні розміри руху в масштабі залізничної лінії, з урахуванням впливу випадкових факторів, до яких ставляться проведення ремонтних робіт, нерівномірність руху і різні тривалості заняття шляхів на технічних станціях. Установлене, що виконані в цей час наукові праці не передбачають комплексного підходу до оцінки пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній, що не дозволяє враховувати взаємний вплив нерівномірності завантаження ділянок і технічних станцій. Разом з тим, на даний момент, відсутні автоматизовані системи, що визначають оптимальні тривалості «вікон» з урахуванням змін у технології проведення ремонтних робіт, які дозволяють освоїти прогнозовані розміри руху. Таким чином, аналіз теоретичних положень показав, що в цей час відсутній науковий апарат, спрямований на комплексну оцінку пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній.

З метою рішення сформованого протиріччя в теорії експлуатації залізниць в області оцінки пропускної здатності реконструйованих залізничних ліній, у дослідженні розроблений методичний апарат оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії, який включає такі положення як: імітаційна модель пропуску поїздів по реконструйованій лінії, яка включає обґрунтування границь моделювання, оцінку затримок від надання «вікон», облік характеристик руху вантажних поїздів і розрахунки ймовірності відповідності моделюючої пропускної здатності потрібної лінії і методика оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії на основі імітаційного моделювання.

У роботі обґрунтовані особливості імітаційного моделювання оцінки пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії, яка включає

обґрунтування границь моделювання реконструйованої лінії, оцінку затримок від надання «вікон», облік характеристик руху вантажних поїздів і розрахунки ймовірності відповідності пропускної здатності лінії, яка моделюється. Пропонується визначати границі моделювання залізничної лінії при реконструкції, які встановлюються відповідно до результатів аналізу втрат поїздо-годин заданим числом поїздів при русі по лінії до початку ремонтних робіт зі схеми: станція призначення - станція, що є «вузьким місцем» пропуску, плюс найближча технічна станція попередня їй. Запропонований критерій визначення «вузького місця» на підставі використання статистичних даних про станції критичних тривалості стоянок поїздів і зниження швидкостей на підходах до них. Для оцінки ймовірності забезпечення перевищення моделюючої пропускної здатності реконструйованої залізничної лінії над потрібною, розроблена процедура перевірки забезпечення пропуску заданого кількості вантажних поїздів з різними перегінними часами ходу протягом доби, що дозволяє вр