

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна

**БАРДАСЬ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 656.222.3

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ  
ШЛЯХОМ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ**

05.22.01- транспортні системи

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Комп'ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор **Скалозуб Владислав Васильович**,  
зав. кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Ломотько Денис Вікторович**,  
проректор з наукової роботи Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків.

кандидат технічних наук, доцент **Яновський Петро Олександрович**,  
професор кафедри «Організація авіаційних перевезень» Національного авіаційного університету, м. Київ.

Захист відбудеться «8» червня 2012 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, к. 314, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «8» травня 2012 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., професор

\_\_\_\_\_

І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Управління процесами поїздоутворення являється одним із основних завдань оперативного керування, що вирішуються на сортувальних станціях. Якість управління поїздоутворенням в значній мірі визначається оперативним плануванням, яке залежить від значної кількості показників, що враховуються. З розвитком автоматизованих систем керування залізничним транспортом України в цілому зростають можливості щодо розширення інформаційної бази процесів планування поїздоутворення. В цих умовах збільшується значення завдань урахування черговості розпуску составів з метою забезпечення удосконалення структури поїздів, яка впливає на умови переробки вагонопотоків на мережі сортувальних станцій в цілому. Інформаційне забезпечення АСК ВП УЗ таким чином дає змогу узагальнити завдання вибору черговості розпуску составів для транспортної мережі.

Вибір черговості розпуску составів на сортувальних станціях, як засіб впливу на процес поїздоутворення, є складною оптимізаційною задачею, яка на даний час не отримала свого остаточного вирішення. Відомі моделі вибору черговості розпуску розглядають сортувальну станцію окремо від залізничної мережі та не враховують багатоступеневу процедуру переробки вагонопотоків на станціях. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, що присвячена підвищенню ефективності поїздоутворення за рахунок оптимізації черговості розпуску составів є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку, що визначені у Постанові Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 про реформування залізничної галузі та Стратегії розвитку залізничного транспорту до 2020 року, а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: “Розробка адаптивних методів, інформаційних технологій та уніфікованих інформаційних процедур багатокритеріального ієрархічного і нечіткого управління в умовах невизначеності” (№ державної реєстрації 0109U002989).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності поїздоутворення за рахунок оптимізації черговості розпуску составів з урахуванням роботи системи сортувальних станцій транспортної мережі.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі були поставлені та розв'язані наступні завдання:

- дослідження та аналіз напрямків підвищення ефективності процесу поїздоутворення за рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях транспортної мережі;
- дослідження процесу пропуску поїздів залізничними ділянками;
- розробка методики та засобів інформаційного забезпечення, призначених для вирішення завдань планування поїздоутворення за рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях транспортної мережі на основі даних АСК ВП УЗ;
- розробка математичної моделі задачі вибору черговості розпуску составів для мережі сортувальних станцій;

- адаптація математичної моделі задачі вибору черговості розпуску составів до функціонування в умовах надходження неточної інформації;
- розробка процедур спрямованих на зменшення обсягів перебору варіантів черговості розпуску составів;
- оцінка ефективності процесів поїздоутворення на мережі сортувальних станцій за допомогою створених методів вибору черговості розпуску составів.

**Об'єкт дослідження** – процеси поїздоутворення на сортувальних станціях.

**Предмет дослідження** – планування поїздоутворення на сортувальних станціях залізничної мережі шляхом вибору черговості розпуску составів.

**Методи дослідження.** Наукові та прикладні результати дисертаційної роботи щодо підвищення ефективності процесів планування поїздоутворення отримані на основі інформаційного, математичного та імітаційного моделювання, теорії оптимізації, а саме: методи теорії ймовірностей, математичної статистики, регресійного аналізу, RS-аналізу часових рядів, багатомірної лінійної екстраполяції та методи ситуаційно-евристичного прогнозування були використанні для аналізу закономірностей процесу пропуску поїздів залізничними ділянками, а також для розробки інформаційного забезпечення задачі вибору черговості розпуску составів; методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів, теорія масового обслуговування, методи комбінаторної оптимізації були використані для дослідження закономірностей процесів поїздоутворення на сортувальних станціях та оцінки ефективності запропонованих методик вибору черговості розпуску составів; методи двоетапного стохастичного програмування, декомпозиції комбінаторних задач, оптимізації по критеріям, що застосовуються послідовно були використані для формування моделі вибору черговості розпуску составів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційній роботі вирішено нове завдання щодо планування поїздоутворення на сортувальних станціях залізничної мережі. Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше сформульовано завдання і розроблені математичні моделі вибору черговості розпуску составів для мережі сортувальних станцій. Сформовано новий критерій ефективності черговості розпуску составів на основі показника якості структури поїздів свого формування. Він дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на послідовності технічних станцій.

Вперше сформульовано завдання вибору черговості розпуску составів у стохастичній постановці та запропоновано метод її вирішення на основі двоетапної моделі стохастичного програмування, що дозволяє врахувати стохастичну природу прогнозу прибуття поїздів на сортувальну станцію та зменшити обсяги розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску.

Удосконалено метод аналізу варіантів черговості розпуску составів за рахунок введення та використання критерію ідеальної послідовності розпуску, що дозволяє зменшити обсяги розрахунків, пов'язаних із вибором варіантів черговості розпуску.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, моделі та методи із підвищення ефективності поїздоутворення на мережі сортувальних станцій, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані при розробці

автоматизованої системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу сортувальних станцій.

Розроблене математичне програмне забезпечення може бути використане для складання прогнозу прибуття поїздів на сортувальні станції та видачі рекомендацій щодо раціональної черговості розпуску составів.

Результати роботи також використовуються в учбовому процесі у курсі „Дослідження операцій в транспортних системах” та у дипломному проектуванні при підготовці спеціалістів спеціальності 7.100403 „Організація перевезень і управління на залізничному транспорті”.

Результати роботи прийняті для впровадження Державною Адміністрацією залізничного транспорту України для удосконалення автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера на Придніпровській залізниці. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, отримані автором самостійно.

Статті [1, 2] опубліковані автором одноосібно. В статті [3] автором запропоновано при вирішенні задачі вибору черговості розпуску составів використовувати новий критерій якості структури поїздів свого формування та застосовано поняття ідеальної черговості розпуску для скорочення обсягів розрахунків. В роботі [4] автором запропоновано лексикографічне відношення критеріїв ефективності черговості розпуску составів та виконано адаптацію моделі вибору черговості розпуску при декомпозиції задачі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 71-й науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2011 р.); на 7-й, 8-й, 9-й міжнародних наукових конференціях «Проблеми економіки транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008-2010 рр.); на міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008-2010 рр.), на наукових семінарах кафедри «Комп’ютерні інформаційні технології» 2009, 2010, 2012 рр. У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (квітень 2012 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 14 наукових праць: 4 наукових статті у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 10 тез доповідей у матеріалах і тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і шести додатків. Повний обсяг роботи – 185 сторінок; з них основного тексту 150 сторінок; 34 рисунки, 4 таблиці, додатків 35 сторінок. Список використаних джерел включає 177 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна, практичне значення одержаних резуль-

татів та особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

**В першому розділі** виконано аналіз сучасних методів планування поїздоутворення, а також засад його удосконалення за рахунок вибору черговості розпуску составів (ВЧРС).

Проблемам планування поїздоутворення, які враховують різні аспекти цього процесу, присвячені дослідження багатьох вчених: М.А. Аветікяна, К.А. Бернгарда, А.В. Бикадорова, В.І. Бобровського, В.І. Бодюла, А.Ф. Бородіна, Т.В. Бутько, В.А. Буянова, Р.В. Вернигори, А.С. Гершвальда, П.С. Грунтова, М.І. Данько, Н.М. Іванкова, Н.Д. Іловайського, І.В. Жуковицького, Д.М. Козаченко, П.А. Козлова, Б.А. Кривошия, І.Є. Левицького, Д.Ю. Левіна, В.Д. Лермана, Д.В. Ломотько, Є.В. Нагорного, В.Я. Негрея, А.П. Петрова, Ф.П. Пищика, А.І. Платонова, Б. дел Ріо, В.С. Селецького, В.В. Скоробогатько, Є.А. Сотнікова, І.Г. Тихомирова, А.Г. Тіліченко, Л.П. Тулупова, О.В. Харітонова, І.В. Харлановича, Н.Б. Чернецької-Білецької, С.С. Шавзиса, Є.М. Шафіта, Н.Р. Ющенко, П.А. Яновського та інших.

Аналіз показав, що вибір черговості розпуску составів є складною оптимізаційною задачею планування поїздоутворення, яка до теперішнього часу не отримала свого остаточного розв'язку. Черговість розпуску составу впливає як на показники роботи окремої сортувальної станції, так і на умови роботи наступних технічних станцій залізничної мережі. Останній фактор функціонування залізничної транспортної системи ураховується недостатньо.

В наукових роботах пропонуються різні методи вирішення задачі вибору черговості розпуску составів: методи комбінаторного аналізу варіантів, гілок та меж, динамічного програмування, теорії розкладів, евристичних пошукових алгоритмів; відомий також метод вирішення задачі на основі динамічної транспортної задачі з затримками в багатопродуктовій постановці. Всім відомим моделям властивий спільний недолік – чутливість до точності прогнозу прибуття поїздів на сортувальну станцію, що являється значною перешкодою до їх впровадження.

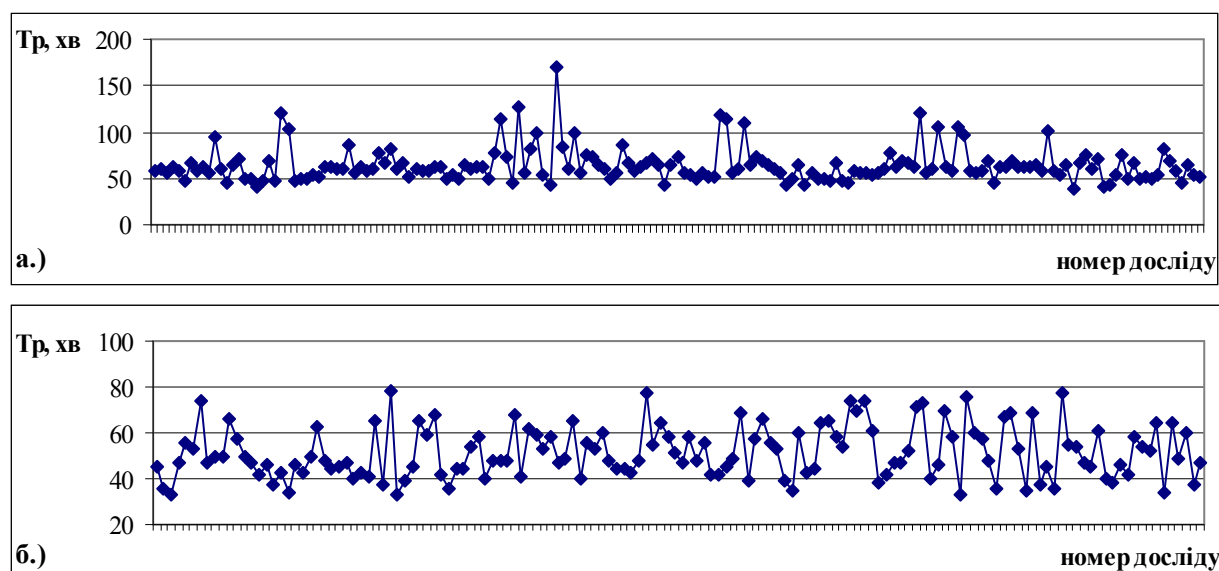
Огляд літератури показав, що критеріями оптимальності черговості розпуску составів можуть бути приведені витрати вагоно-годин простою в підсистемі розформування, загальні експлуатаційні витрати сортувальної станції та якомога більш повна реалізація плану відправлення поїздів зі станції (своєчасне завершення накопичення та відправлення всіх або можливого максимуму запланованих поїздів при мінімальній узагальненій втраті якості по іншим станційним процесам). Недоліком цих критеріїв являється те, що вони розглядають сортувальну станцію окремо від загальної залізничної мережі та решти технічних станцій. В деяких роботах пропонується перехід до загальномережевого критерію шляхом динамічної оцінки вагонопотоку. Проте жоден із відомих критеріїв не враховує можливості створення сприятливих умов роботи на наступних технічних станціях.

На підставі виконаного аналітичного огляду сформульовані мета, задачі дослідження і загальний методологічний підхід до їхнього розв'язання.

**У другому розділі** вирішено завдання аналізу процесів поїздоутворення та визначення засобів автоматизації планування поїздоутворення на сортувальних станціях.

Ефективне застосування задачі вибору черговості розпуску составів немож-

ливе без використання інформації про очікувані моменти прибуття поїздів на станцію. На даний час система АСК ВП УЗ забезпечує процес планування поїздоутворення прогнозом прибуття поїздів на основі нормативних тривалостей руху, що не виконується на практиці. В роботі поставлено завдання обрати раціональну технологію прогнозування руху поїздів та дослідити стохастичні характеристики отриманого прогнозу. Дослідження виконувались на станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці. При створенні моделей прогнозування на основі показника Херста встановлено антиперсистентність часового ряду, який визначає тривалість руху вантажних поїздів по залізничних ділянках (дивись рисунок 1). Через неможливість прогнозування, було застосовано методи штучного інтелекту – метод ситуаційно-евристичного прогнозування за зразками.



а.) ділянка Синельникове II – НД-Вузол; б.) ділянка Новомосковськ – НД-Вузол  
Рисунок 1 – Часові ряди тривалості руху поїздів по ділянках

У роботі створено програмне забезпечення, що дозволяє складати прогноз прибуття поїздів на основі запропонованого методу. Вікна програми наведено на рисунку 2. У ній, на основі даних про проходження поїздами роздільних пунктів, визначаються очікувані моменти прибуття поїздів на наступні станції. „Схожість” поїздів визначається за масою та моментом відправлення на ділянку. Додатковими функціями є обробка статистичних даних по тривалості знаходження поїздів на окремих дільницях та точності прогнозу прибуття поїздів.

У роботі виконано дослідження очікуваної точності прогнозу прибуття поїздів при використанні обраної технології (дивись рисунок 3). Розрахунки показали, що відносна похибка прогнозування коливатиметься у межах 14-19 %, при цьому величина абсолютної середньої похибки (без урахування знаку) становить біля 6-13 хв.

З метою подальших досліджень закономірностей процесів поїздоутворення в дисертації вирішена задача побудови універсальної імітаційної моделі сортувальної станції, яка була реалізована з використанням мови Visual Basic. Далі модель було адаптовано під технологію роботи та схему колійного розвитку непарної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол.

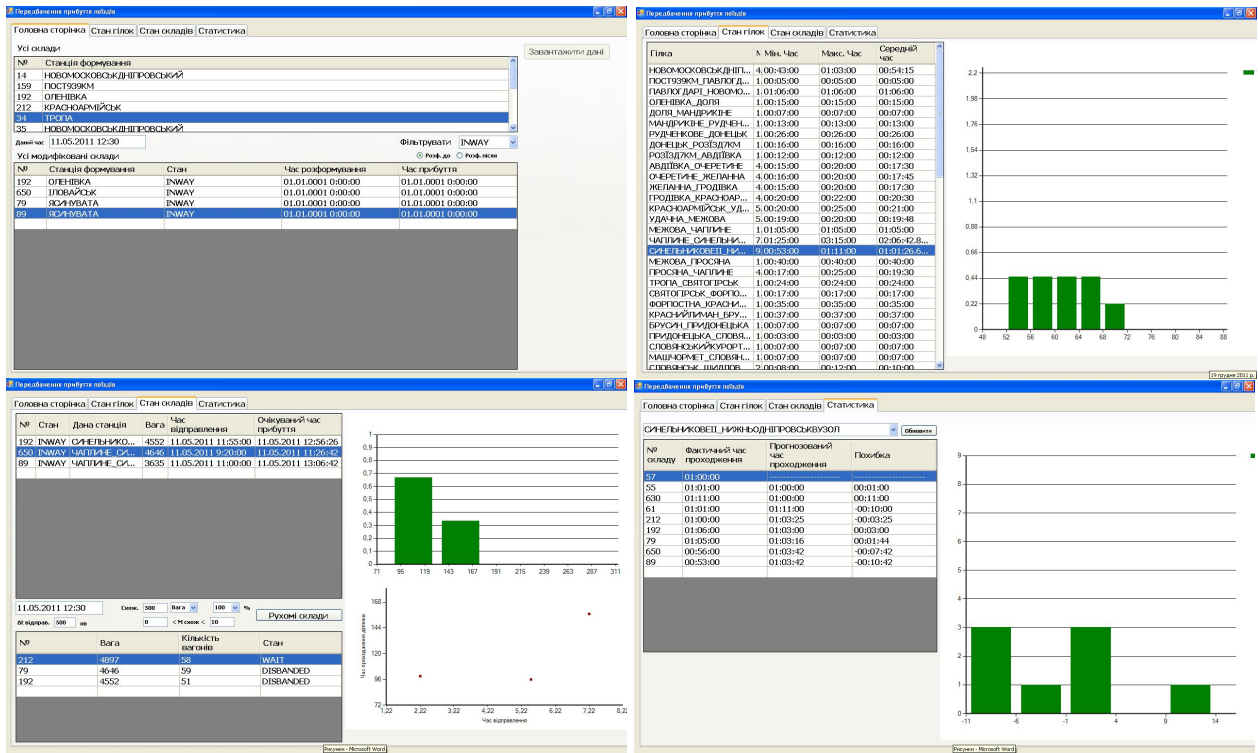
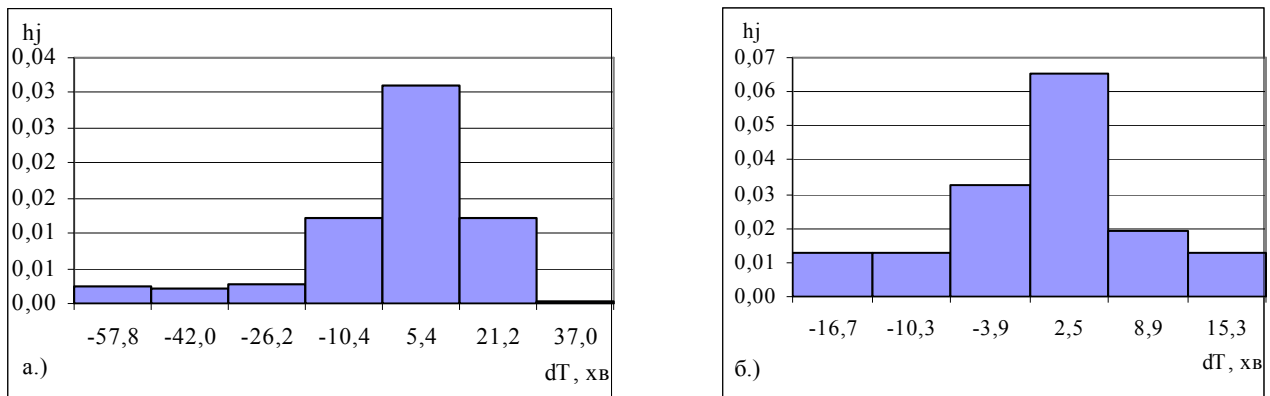


Рисунок 2 – Вікна програми складання прогнозу прибуття поїздів

Відмінність моделі станції від існуючих полягає в тому, що вибір черговості розпуску составів здійснюється з урахуванням подальшої переробки вагонопотоків на мережі сортувальних станцій. Імітаційна модель сортувальної станції складається із моделі фізичних процесів (МФП), моделі процесів передачі інформації (МПІІ), моделі системи керування черговістю розпуску составів (МСКЧР) та інформаційної моделі (ІМ) (дивись рисунок 4).



а.) ділянка Синельникове II – НД-Вузол; б.) ділянка Новомосковськ – НД-Вузол

Рисунок 3 – Гістограма розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходів до станції

Модель відображення фізичних процесів призначена для імітаційного моделювання процесів переміщення та виконання технологічних операцій із об'єктами моделі. МФП розглядається як багатофазна багатоканальна СМО з пріоритетами. Фазами обслуговування являються операції, які виконуються із поїздами та вагонами згідно з технологічним процесом роботи станції. В якості пристроїв обслуговування виступають виконавці. Виконавцями можуть бути як робітники станції (сигналісти, бригада ПТО), так і технічні пристрої (стрілочні зони, колії, локомотиви, сортувальна гірка).



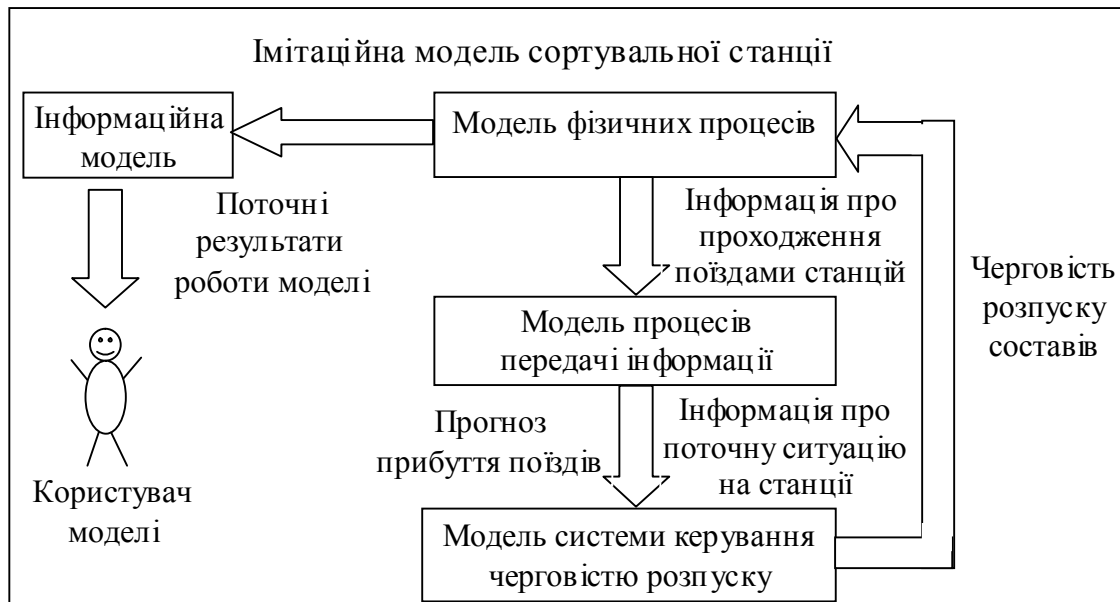


Рисунок 4 – Структура імітаційної моделі поїздоутворення сортувальної станції з урахуванням роботи мережі сортувальних станцій

Об'єктами імітаційної моделі являються вантажні та пасажирські поїзди, поїзні локомотиви, вагони на коліях сортувального парку. Кожен  $i$ -й об'єкт моделі задається структурою  $O_i = \{T_i^o, N_i^o, \sigma_i^o, t_i^{exit}, A_i\}$ , де  $T_i^o$  – тип об'єкту (в розформування, свого формування, транзитний, пасажирський);  $N_i^o$  – порядковий номер об'єкту даного типу, в сукупності із типом об'єкту утворює його ідентифікатор;  $\sigma_i^o$  – поточний стан об'єкту (наприклад можливими станами пасажирського поїзду можуть бути: на підході, прийом, зупинка, відправлення, відправлено);  $t_i^{exit}$  – момент виходу об'єкту зі стану  $\sigma_i^o$ ;  $A_i$  – множина додаткових параметрів об'єкту (ступінь пріоритетності, напрямок прибуття, відправлення і т.д.).

Виконавці МФП задаються структурою  $E = \{T_i^e, N_i^e, \sigma_i^e, t_i^{3ag}\}$ , де  $T_i^e$  – тип виконавця;  $N_i^e$  – порядковий номер виконавця даного типу, разом із типом виконавця утворює його ідентифікатор;  $\sigma_i^e$  – поточний стан виконавця (вільний, в процесі виконання операції із подальшим звільненням після її завершення та в процесі виконання операції без звільнення після її завершення);  $t_i^{3ag}$  – момент завершення роботи виконавцем.

Із кожним об'єктом МФП виконується певна послідовність операцій, яка передбачається технологічним процесом роботи сортувальної станції. Тривалість виконання кожної операції моделюється як випадкова величина, закони розподілу та параметри якої залежать від характеристик об'єктів та виконавців робіт. Технологічні процеси обробки об'єктів формалізовано на основі відповідних скінченних автоматів.

Скінченний автомат задається за допомогою наступних параметрів:  $M = (S, X, Z, f_z, f_s)$ , де  $S = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$  – кінцева множина станів автомату (наприклад для поїзду в розформування можливими являються стани „на підході до станції”, „в процесі прийому на станцію”, „прийнято на станцію”, „виконується закріплення” і т.д.);  $X = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_p\}$  – допустимий вхідний алфавіт (кінцева множи-

на допустимих вхідних символів), із якого формуються рядки, які зчитуються автоматом (наприклад сигнал, що подається при підході поїзда до станції);  $Z = \{\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_q\}$  – допустимий вихідний алфавіт (наприклад сигнал, що подається при зайнятті стрілочної зони під час прийому поїзда на станцію);  $f_z$  и  $f_s$  – характеристичні функції виходів і переходів автомата (умови переходу автомату із одного стану в інший).

Модель процесів передачі інформації являється імітаційною моделлю АСК ВП УЗ. МППІ відображає інформацію про хід перевізного процесу. Потреба в МППІ обґрунтована тим, що під час вирішення задачі ВЧРС не всі дані про хід перевізного процесу являються доступними. Відомими можуть бути лише ті дані, які містяться в АСК ВП УЗ – повідомлення про проходження вантажними та пасажирськими поїздами станцій залізничної мережі, прогноз прибуття поїздів, відомості про поїзди в обсязі телеграм-натурних листів та дані із динамічної моделі сортувальної станції. Інформація щодо проходження поїздами підходів до станції відома перед початком моделювання та отримана на основі фактичних даних виконаного руху із АСК ВП УЗ. Інформація щодо проходження поїздів станції Нижньодніпровськ-Вузол формується за результатами роботи МФП.

Модель системи керування черговістю розпуску являє собою математичну модель, за допомогою якої вирішується задача ВЧРС. У роботі виконано дослідження вибору черговості розформування составів на основі різних критеріїв ефективності, а також при обробці составів у порядку прибуття.

Інформаційна модель сортувальної станції призначена для більш зручного спостереження дослідником за процесом моделювання, та являється відображенням моделі фізичних процесів. Інформаційну модель реалізовано у вигляді плану-графіку роботи сортувальної станції. Кожна операція, що виконується із поїздом, має певне умовне позначення та відображається графічно.

Перевірку адекватності розробленої імітаційної моделі було виконано за допомогою W-критерію Уїлкоксона на основі показника тривалості простою транзитного вагону із переробкою. Розрахунки виконувались окремо для підсистем розформування та формування. На рисунку 5 наведено гістограми розподілу тривалості знаходження вагонів у підсистемі розформування згідно із статистичними даними та за результатами моделювання. Розрахунки показали, що вибірки за показником тривалості простою вагонопотоків із переробкою відрізняються статистично неістотно, що свідчить про адекватність розробленої імітаційної моделі.

У роботі пропонується в якості додаткового критерію ефективності черговості розпуску составів використовувати такий показник як кількість відчепів у составах свого формування. Цей показник в значній мірі визначає умови переробки вагонопотоків на технічних станціях. Наслідками значного подрібнення відчепів стають зменшення швидкості розпуску составів, збільшення тривалості осаджування вагонів у сортувальному парку та збільшення кількості помилок при сортуванні. Тому формування составів із меншою кількістю відчепів являється ефективним способом створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій залізничної мережі.

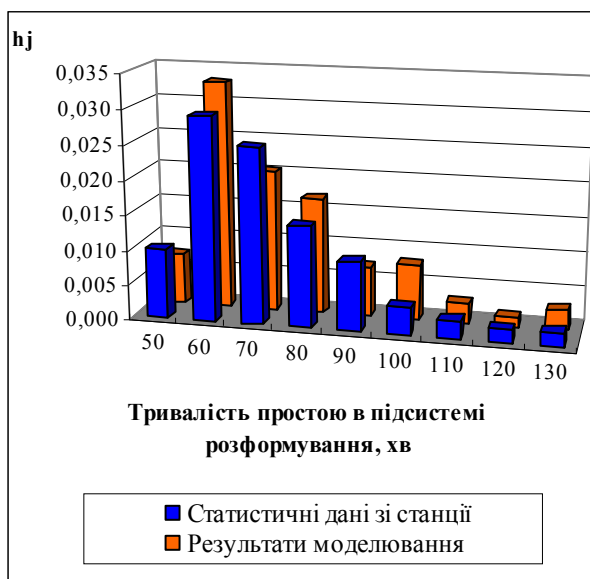


Рисунок 5 – Гістограма розподілу тривалості знаходження вагонів у підсистемі розформування станції НД-Вузол

У роботі виконано дослідження впливу черговості розпуску составів на процес формування нових відцепів у сортувальному парку, згідно з якими поїзди, що формуються на станції, будуть розформовані на наступних технічних станціях.

На основі даних розмічених натурних листів поїздів, що розформовувались в непарній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол було виконано статистичну обробку випадкової величини кількості вагонів у відчепках. На рисунку 6 приведено результати дослідження. Як видно із діаграми, майже половина відцепів складаються із одного вагону.

Якщо поставити задачу досягти мінімально можливої кількості відцепів у складах, що формуються на станції, то

критерій задачі вибору черговості розпуску составів можна записати у вигляді виразу

$$C_{\text{відч}} = \sum_{i=1}^N g_i \longrightarrow \min_{X^{(t)}}, \quad (1)$$

де  $g_i$  – кількість відцепів у  $i$ -му сформованому составі;

$N$  – кількість сформованих составів за період моделювання;

$X^{(t)}$  – послідовність розформування составів.

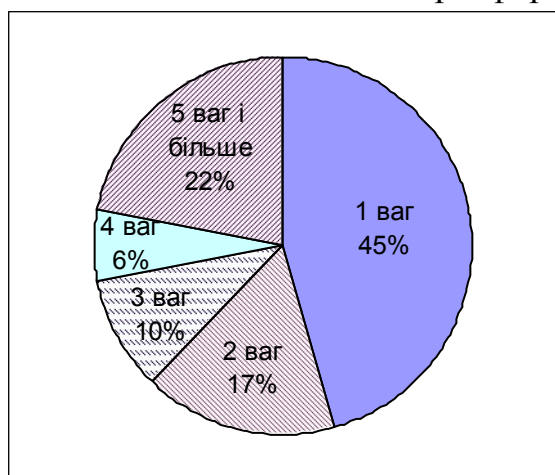


Рисунок 6 – Розподіл кількості вагонів у відчепках на станції НД-Вузол

Результати досліджень представлено на рисунку 7. Моделювання виконувалось для різної кількості составів, що включаються до графу варіантів черговості розпуску (глибина планування). Як видно із графіків, за рахунок управління черговістю розпуску середню величину відцепу у складах, що накопичуються, можна збільшити на величину до 2-4% при глибині планування на 3-4 состави, та до 4-6,5% при глибині планування на 5-7 составів.

У третьому розділі розроблено систему математичних моделей вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях залізничної мережі.

Виконаний огляд літератури та дослідження процесів поїздоутворення і планування поїздоутворення показують, що вибір черговості розпуску составів являється складною оптимізаційною задачею. Від черговості розпуску составів залежать як експлуатаційні витрати сортувальної станції, на якій здійснюється розформування, так і експлуатаційні витрати наступних технічних станцій, на яких буде виконуватись подальша переробка вагонопотоків. Керування черговістю роз-

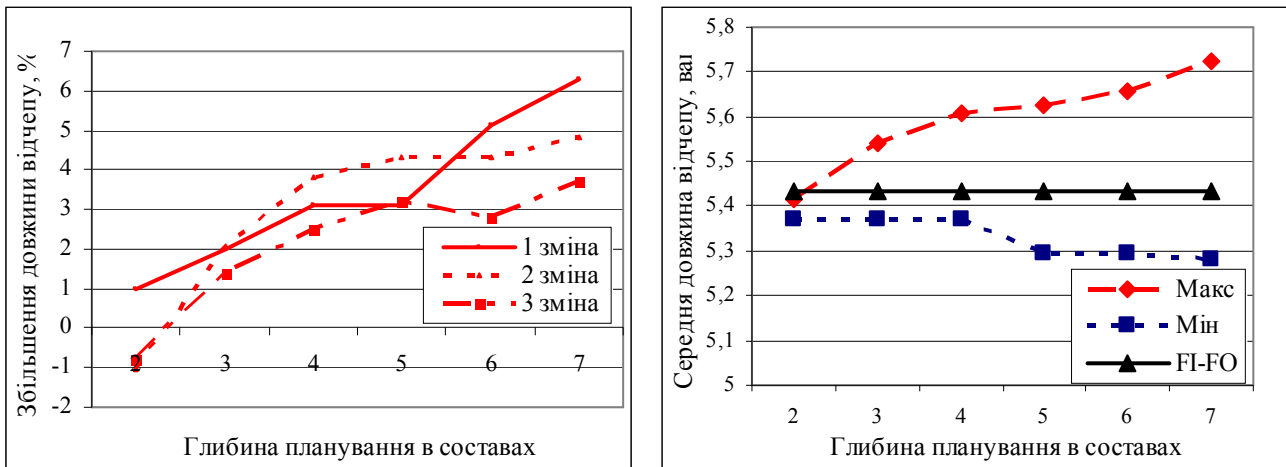


Рисунок 7 – Залежність середньої довжини відцепу в складі свого формування від глибини планування (в складах)

пуску має виконуватись за принципом покращення показників роботи всіх технічних станцій транспортної мережі.

Кожен варіант обробки складів будемо характеризувати обраною черговістю розпуску  $X^{(t)} = \{N_1, N_2, \dots, N_k\}$ , де  $N_1, N_2, \dots, N_k$  – номер складу, що розформується, відповідно, першим, другим,  $k$ -м;  $t$  – номер черговості розпуску складів,  $t = 1 \dots k!$ . Всю множину черговостей позначимо як  $X = \{X^{(t)}\}$ .

Модель вибору черговості розпуску складів включає два рівні – нижній (станційний) та верхній (мережевий). Модель нижнього рівня передбачає мінімізацію загальних експлуатаційних витрат сортувальної станції на якій виконується розформування поїздів. Модель верхнього рівня передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій залізничної мережі.

Цільова функція моделі нижнього рівня формується наступним чином:

$$C(X^{(t)}) = C_{\text{ваг-зод}}(X^{(t)}) + C_{\text{п-зод}}(X^{(t)}) + C_{\text{лок-зод}}(X^{(t)}) + C_{\text{ман}}(X^{(t)}) \longrightarrow \min_{\forall X^{(t)} \in X}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{ваг-зод}}(X^{(t)})$  – витрати, що пов'язані із простоем вагонів на станції при реалізації черговості розпуску  $X^{(t)}$ ;

$C_{\text{п-зод}}(X^{(t)})$  – витрати, що пов'язані із простоем поїздів по неприюму на станцію при реалізації черговості розпуску  $X^{(t)}$ ;

$C_{\text{лок-зод}}(X^{(t)})$  – витрати, що пов'язані із простоем локомотивів на станції при реалізації черговості розпуску  $X^{(t)}$ ;

$C_{\text{ман-зод}}(X^{(t)})$  – витрати, що пов'язані із маневровою роботою на станції при реалізації черговості розпуску  $X^{(t)}$ .

Цільова функція моделі верхнього рівня визначається виразом (1) та передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій залізничної мережі.

Одним із основних недоліків існуючих методів ВЧРС являється припущення про детермінованість вихідних даних і, як наслідок, значна чутливість до їх точності. У другому розділі роботи було показано, що прогноз прибуття поїздів характеризується значною неточністю та не може забезпечити достовірність інформації щодо підходу поїздів. В зв'язку з цим врахування в моделі ВЧРС стохастичних характеристик прогнозу прибуття поїздів являється раціональним кроком.

Нехай  $\{\theta_i\} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_f\}$  – множина можливих станів системи „Станція – Прилеглі перегони”, яка визначається можливими моментами підходу поїздів до станції –  $\theta_i = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$ . Множина  $\{\theta_i\}$  формується на основі статистичних даних щодо точності прогнозу прибуття поїздів. Ймовірність  $P(\theta_i)$  кожного стану відома.

Враховуючи можливість відхилення фактичного прибуття поїздів від прогнозу, отримуємо цільову функцію задачі ВЧРС на основі моделі стохастичного програмування:

$$\dot{C}(X^{(t)}) = \sum_{i=1}^f (C(X^{(t)}; \theta_i) \cdot P(\theta_i)) \longrightarrow \min_{\forall X^{(t)} \in X}$$

де  $C(X^{(t)}; \theta_i)$  – загальні експлуатаційні витрати на реалізацію послідовності розпуску  $X^{(t)}$  в умовах  $\theta_i$ .

Постановка задачі ВЧРС на основі задачі стохастичного програмування значно збільшує обсяги розрахунків. Оскільки управління черговістю розпуску здійснюється в оперативних умовах, то ситуація затримки обробки поїздів через очікування завершення розрахунків являється недопустимою. В зв'язку з цим необхідно розробити заходи, спрямовані на скорочення розмірності задачі ВЧРС.

Одним із шляхів вирішення поставленого завдання являється декомпозиція задачі та розбивка графу варіантів на окремі менш громіздкі процеси. З цією метою граф варіантів черговості розпуску розділяємо на два етапи – граф варіантів першого етапу глибиною  $k_1$  составів, та граф варіантів другого етапу глибиною  $k_2$  составів (дивись рисунок 8), які являються продовженням гілок графу варіантів першого етапу. Кількість варіантів графу першого етапу становить  $\frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!}$ , тоді

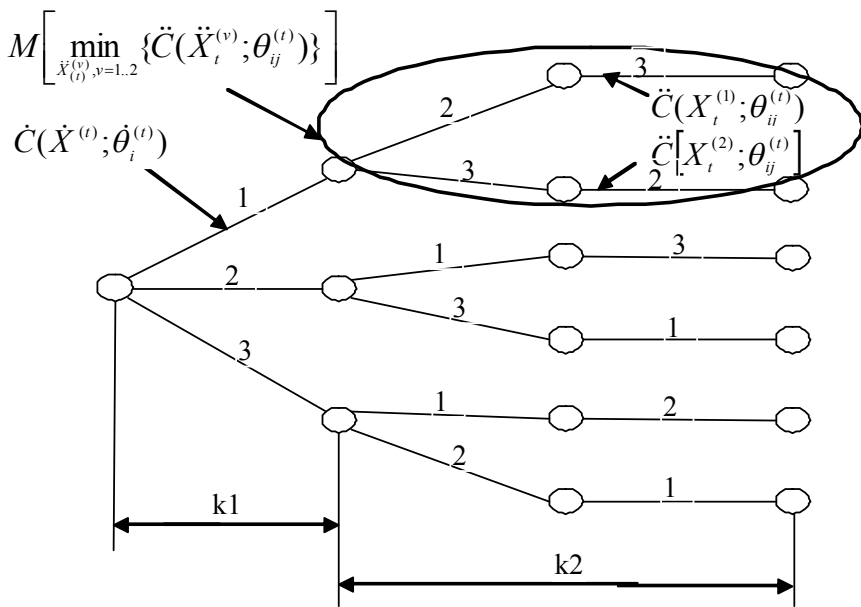


Рисунок 8 – Граф можливих варіантів черговостей розпуску у випадку декомпозиції задачі ВЧРС

кількість графів другого етапу становить також  $\frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!}$ , кількість варіантів кожного графу другого етапу визначається як  $k_2!$ . Загальна кількість варіантів об'єднаного дерева становить  $(k_1 + k_2)!$ .

Множину черговостей розпуску графу варіантів першого етапу позначимо як  $\dot{X} = \{\dot{X}^{(t)}\}$ ,

$t = 1 \dots \frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!}$ . Множина можливих станів системи на етапі розрахунку по графу

варіантів першого етапу  $\dot{\theta} = \{\dot{\theta}_i^{(t)}\}$ ,  $i = 1..f_1$ ,  $t = 1.. \frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!}$  визначається можливи-  
ми моментами підходу до станції поїздів, що включено до графу варіантів першо-  
го етапу –  $\dot{\theta}_i^{(t)} = \{T_1, T_2, \dots, T_{k_1}\}$ . Ймовірність  $P(\dot{\theta}_i^{(t)})$  кожного стану відома. Для кож-  
ної черговості  $\dot{X}^{(t)}$  відома множина черговостей розпуску графу варіантів другого  
етапу, позначимо її як  $\{\ddot{X}_i^{(v)}\}$ ,  $v = 1..k_2!$ ,  $t = 1.. \frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!}$ . Для кожного графу варіан-  
тів другого етапу також відома множина можливих станів системи  $\ddot{\theta} = \{\ddot{\theta}_{ij}^{(t)}\}$ ,  
 $i = 1..f_1$ ,  $j = 1..f_2$ ,  $\ddot{\theta}_{ij}^{(t)} = \{T_{k_1+1}, T_{k_1+2}, \dots, T_{k_1+k_2}\}$ .

Ймовірність  $P(\ddot{\theta}_{ij}^{(t)})$  кожного стану відома. Можливий стан  $\ddot{\theta}_{ij}^{(t)}$  конкретизує  
ситуацію, що склалася згідно стану  $\dot{\theta}_i^{(t)}$ , тобто  $\sum_{j=1}^{f_2} P(\ddot{\theta}_{ij}^{(t)}) = P(\dot{\theta}_i^{(t)})$ .

Після декомпозиції задачі приходимо до двоетапної задачі стохастичного  
програмування:

$$C_1(\dot{X}^{(t)}) = M \left[ \dot{C}(\dot{X}^{(t)}; \dot{\theta}_i^{(t)}) + M \left[ \min_{\substack{\ddot{X}_i^{(v)}, v=1..k_2!}} \{ \ddot{C}(\ddot{X}_i^{(v)}; \ddot{\theta}_{ij}^{(t)}) \} \right] \right] \longrightarrow \min_{\forall \dot{X}^{(t)} \in \dot{X}} \quad (3)$$

де  $\dot{C}(\dot{X}^{(t)}; \dot{\theta}_i^{(t)})$  – експлуатаційні витрати варіанту черговості розпуску  $\dot{X}^{(t)}$   
графу варіантів першого етапу в умовах  $\dot{\theta}_i^{(t)}$ ;

$\ddot{C}(\ddot{X}_i^{(v)}; \ddot{\theta}_{ij}^{(t)})$  – експлуатаційні витрати варіанту черговості розпуску  $\ddot{X}_i^{(v)}$  гра-  
фу варіантів другого етапу, що належить черговості  $\dot{X}^{(t)}$  графу варіантів першого  
етапу. Витрати визначаються в умовах  $\dot{\theta}_i^{(t)}$  та  $\ddot{\theta}_{ij}^{(t)}$ .

Таким чином, у роботі запропоновано перетворення n-компонентної задачі  
ВЧРС в послідовність 2-х етапних, 2-х компонентних задач. Використання в якості  
цільової функції виразу (3) дозволить враховувати стохастичний характер прогно-  
зу прибуття поїздів на станцію, та уникнути надмірного збільшення розмірності  
задачі ВЧРС.

Моделі ВЧРС нижнього та верхнього рівня узгоджені між собою наступним  
лексикографічним чином –  $C_1 \succ^{lex} C_2$ , де  $C_1$  – критерій відбору за загальними експлу-  
атаційними витратами на станції розформування составів;  $C_2$  – критерій відбору  
за структурою составів свого формування.

Отримана двокритеріальна задача вирішується за допомогою методу послі-  
довних поступок. Ідея методу полягає в тому, що спочатку виконується оптиміза-  
ція за пріоритетним критерієм ( $C_1$ ), потім призначають величину допустимого  
відхилення даного критерію, та виконують оптимізацію за другим критерієм ( $C_2$ ),  
при умові, що значення першого критерію не повинне відрізнятись від оптималь-  
ного більше, ніж на величину допустимого відхилення. На нижньому рівні вико-  
нується відбір множини рішень  $\{\tilde{X}_1^{(u)}\}$ , які враховують інтереси роботи окремої  
сортувальної станції (на якій виконується розпуск составів). На верхньому рівні із

множини  $\{\tilde{X}_1^{(u)}\}$  відбирається множина рішень  $\{\tilde{X}_2^{(s)}\}$ , яка забезпечує найкращу із можливих структуру составів свого формування.

Нехай  $C_1^*$ ,  $C_2^*$  оптимальні значення відповідно критеріїв  $C_1$  та  $C_2$ :

$$C_1^* = \min_{\forall \dot{X}^{(t)} \in \dot{X}} \{C_1(\dot{X}^{(t)})\}, \quad C_2^* = \min_{\forall \dot{X}^{(t)} \in \dot{X}} \{C_2(\dot{X}^{(t)})\}.$$

Введемо допустимі поступки  $\Delta C_1$  та  $\Delta C_2$  по критеріям відповідно  $C_1$  та  $C_2$ . Множина рішень, що забезпечує допустиме відхилення за критеріями відповідно  $C_1$  та  $C_2$ :

$$\{\tilde{X}_1^{(u)}\} = \{\dot{X}^{(t)} | C_1(\dot{X}^{(t)}) \leq C_1^* + \Delta C_1\}, \quad u = 1..l, \quad t = 1.. \frac{(k_1 + k_2)!}{k_2!},$$

$$\{\tilde{X}_2^{(s)}\} = \{\tilde{X}_1^{(u)} | C_2(\tilde{X}_1^{(u)}) \leq C_2^* + \Delta C_2\}, \quad s = 1..g.$$

Для кожної допустимої послідовності розпуску  $\tilde{X}_2^{(s)}$  будемо фіксувати відносну поступку  $\omega_z(\tilde{X}_2^{(s)}) = \frac{C_z(\tilde{X}_2^{(s)}) - C_z^*}{\Delta C_z}$ ,  $s = 1..g$ ,  $z = 1, 2$ .

Задача ВЧРС зводиться до мінімізації загальних поступок по двом критеріям:

$$W = \sum_{z=1}^2 \omega_z(\tilde{X}_2^{(s)}) \cdot e_z \longrightarrow \min_{\forall \tilde{X}_2^{(s)} \in \tilde{X}_2}, \quad (4)$$

де  $e_z$  – вагові коефіцієнти, які характеризують важливість поступки по кожному із критеріїв.

Використання в якості цільової функції задачі ВЧРС виразу (4) дозволить приймати більш обґрунтовані рішення, що сприятимуть покращенню показників роботи залізничної мережі в цілому.

Комбінаторність задачі ВЧРС приводить до необхідності повного перебору варіантів послідовності розпуску, що на практиці не може бути реалізовано. Доцільно розробити заходи, спрямовані на скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із порівнянням варіантів.

У роботі пропонується алгоритм ВЧРС доповнити додатковою функцією – визначення ідеальної послідовності розпуску (ІПР). За рахунок цього може бути зменшена кількість варіантів черговості розпуску і тим самим скорочено перебір у  $n$ -компонентній задачі ВЧРС. Ідеальна послідовність розпуску – така, що забезпечує мінімальне теоретично можливе значення загальних експлуатаційних витрат сортувальної станції. Мінімальне значення повинно досягатися по кожній із складових критерію, який, відповідно до виразу (2), включає в себе витрати, що пов'язані із простоем вагонів та локомотивів на станції, простоем поїздів по неприйому на станцію, а також додатковою маневровою роботою. Тобто ідеальною являється послідовність розпуску, що забезпечує:

- обробку в парку прийому составів із замикаючим групами без непродуктивних простоїв;
- відсутність затримок поїздів по неприйому на станцію;
- відсутність затримок поїзних локомотивів при їх прибиранні від поїздів в розформування;

- направлення усіх вагонів на спеціалізовані сортувальні колії;
- розформування останнього составу у мінімально можливий термін.

Наведений вище критерій ІПР назвемо ідеальною послідовністю розпуску по парку прийому. Воно враховує простій вагонів лише до моменту завершення накопичення. Послідовність розпуску, що відповідає вимогам ІПР по парку прийому, характеризується максимально можливим темпом накопичення составів. Проте такий темп накопичення не завжди доцільний. Досягнуте скорочення простою вагонів у сортувальному парку може бути втрачене у випадках неможливості завершення формування составів через зайнятість маневрових локомотивів; неможливості виставки составів у парк відправлення через зайнятість приймально-відправних колій; відсутності поїзного локомотиву, який необхідно подати під сформований состав і т.д. У таких випадках темп накопичення вагонів слід узгоджувати із оперативною ситуацією, що складається в підсистемі формування. Звідси впливає критерій ІПР по парку відправлення – це така послідовність, що забезпечує:

- відсутність простоїв поїзних локомотивів в очікуванні сформованих составів;
- відсутність простою поїздів по неприйому на станцію;
- відсутність непродуктивних простоїв поїзних локомотивів при прибиранні їх від поїздів в розформування;
- направлення всіх вагонів на спеціалізовані сортувальні колії;
- розформування останнього составу у мінімально можливий термін.

ІПР по парку відправлення характеризує мінімально допустимий темп накопичення составів, що забезпечує відправлення поїздів без затримок, які залежать від черговості розпуску.

На рисунку 9 показано алгоритм використання критеріїв ІПР з метою скорочення обсягів розрахунків.

Зазначимо, що використання критеріїв ІПР в двоетапній моделі ВЧРС можливе лише при оцінці величини експлуатаційних витрат варіантів другого етапу. Нехай  $\mathcal{X}$  – ідеальна послідовність розпуску. Всі черговості розпуску  $\ddot{X}_i^{(v)}$  дерева варіантів другого етапу пронумеруємо по порядку від 1 до  $k_2!$ . Виконуємо послідовний перебір варіантів черговості розпуску та порівняння кожної черговості із ідеальною черговістю  $\mathcal{X}$  за величинами непродуктивних простоїв. Перебір варіантів виконується до тих пір, поки не буде знайдено черговість розпуску під номером  $\lambda$ , для якої виконується умова  $\ddot{C}(\mathcal{X}) = \ddot{C}(\ddot{X}_i^{(\lambda)})$ .

З урахуванням критеріїв ІПР отримаємо нову множину черговостей розпуску графу варіантів другого етапу:

$$\begin{cases} \{\ddot{X}^{(v)}\}, v = 1..k_2! \\ \{\ddot{X}^{(v_1)}\} = \{\ddot{X}^{(v_1)}\}, v_1 = 1..k_2! \mid \exists \lambda \in [1..k_2!], \ddot{C}(\ddot{X}^{(\lambda)}) = \ddot{C}(\mathcal{X}) \wedge \forall v_2 \in [1..k_2! - 1], \ddot{C}(\ddot{X}^{(v_2)}) > \ddot{C}(\mathcal{X}) \\ \{\ddot{X}^{(v)}\} = \{\ddot{X}^{(v)}\} \mid \neg \exists \lambda \in [1..k_2!], \ddot{C}(\ddot{X}^{(\lambda)}) = \ddot{C}(\mathcal{X}) \end{cases}$$



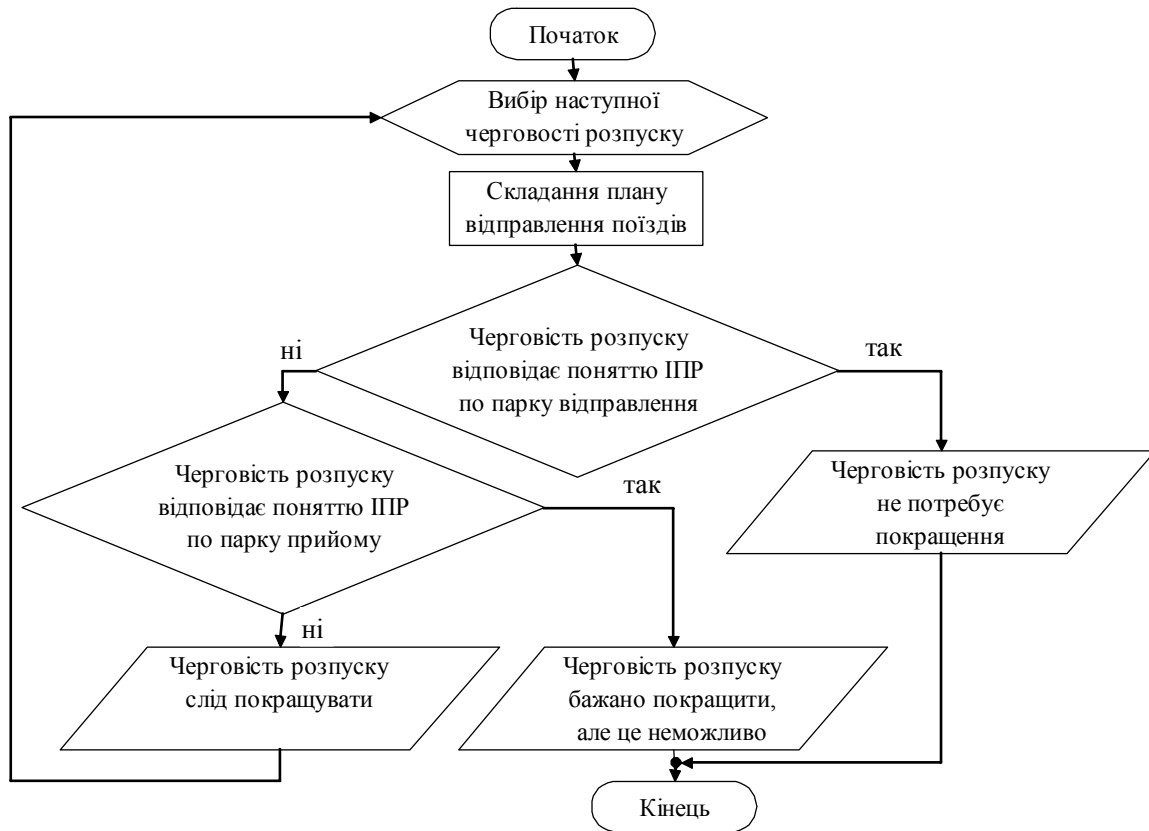


Рисунок 9 – Алгоритм використання критеріїв ідеальної послідовності розпуску

У виразі (3) для оцінки витрат по дереву варіантів другого етапу достатньо знати лише мінімальне значення. Якщо таке значення буде знайдено з використанням критерію ІПР, то подальший перебір варіантів другого етапу можна завершити.

За рахунок використання ІПР можна скоротити обсяги розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску. Дана методика може бути застосована і в детермінованих постановках задачі ВЧРС.

У **четвертому розділі** вирішене завдання оцінки ефективності процесів поїздоутворення на мережі сортувальних станцій за допомогою створених методів вибору черговості розпуску составів. Дослідження виконані окремо по кожному критерію дворівневої моделі.

Дослідження ефективності запропонованих методик виконано для умов повного перебору варіантів та умов декомпозиції задачі. На рисунку 10 показано результати дослідження експлуатаційних витрат сортувальної станції при управлінні черговістю розпуску. Глибині планування  $k=1$  состав відповідає черговість розпуску FI-FO (обробка у порядку прибуття). У випадку декомпозиції графу варіантів розглядалась різна кількість составів графу першого етапу  $k_1=1$  та  $k_1=2$ . Як видно із графіку, ефективність задачі у випадку її декомпозиції дещо знижується. Але при цьому скорочується тривалість розрахунку та вибору раціональної послідовності. Максимальне скорочення експлуатаційних витрат досягається при глибині планування на 4 состави. Подальше збільшення глибини планування погіршує якість керування черговістю розпуску.

На рисунку 11 показано результати дослідження середньої кількості відцепів



Рисунок 10 – Залежність експлуатаційних витрат сортувальної станції від кількості составів, що включено до графу варіантів черговості розпуску

У додатках до роботи наведено результати пошуку функціональних залежностей тривалості руху поїздів по ділянках від маси составів поїздів, розрахунки очікуваної точності прогнозу прибуття поїздів, техніко-експлуатаційна характеристика станції НД-Вузол, приклад описання скінчених автоматів, розрахунки, що пов'язані із перевіркою адекватності удосконаленої імітаційної моделі сортувальної станції.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором наукові результати, які в сукупності вирішують **науково-прикладне завдання із підвищення ефективності поїздоутворення на залізничній мережі за рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях**. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції:

1. Аналіз наукових робіт присвячених ефективності поїздоутворення виявив спільні недоліки існуючих методів вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях. Перше, це детермінованість постановки завдання, значна чутливість до точності вихідних даних та прогнозу прибуття поїздів. Друге, це ізольований розгляд процесів поїздоутворення на окремих сортувальних станціях, це викликає необхідність подальшого розвитку методів вибору черговості розпуску составів на мережі сортувальних станцій.

2. Дослідження характеристик руху поїздів по ділянках методами хаотичної динаміки показали, що ці процеси можуть бути антиперсистентними. В цих умовах запропоновано та реалізовано прогнозування методами експертних систем, що дозволяє отримати точність прогнозу прибуття поїздів на рівні 14-19 %.

у складах свого формування при управлінні черговістю розпуску.

Графіки на рис. 10 та 11 дають уяву про можливу ефективність управління черговістю розпуску окремо за критеріями станційного та мережевого рівня. На практиці вирішення задачі ВЧРС пропонується здійснювати за допомогою методу послідовних поступок, використовуючи вираз (4). При цьому першочерговою слід вважати мінімізацію експлуатаційних витрат сортувальної станції, створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій має менший пріоритет.



Рисунок 11 – Залежність середньої кількості вагонів у відцепі составу свого формування від кількості составів, що включено до графу варіантів черговості розпуску

3. Виконано постановку задачі вибору черговості розпуску для мережі сортувальних станцій. Для вирішення поставленої задачі розроблено дворівневу модель вибору черговості розпуску составів. Критерій ефективності нижнього рівня передбачає мінімізацію загальних експлуатаційних витрат окремої сортувальної станції. Критерій ефективності верхнього рівня передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій транспортної мережі. Введено лексикографічне відношення критеріїв ефективності. Для остаточного вибору варіанту черговості розпуску використовується метод послідовних поступок.

4. З метою адаптації моделі вибору черговості розпуску составів до функціонування в умовах надходження неточної інформації, модель нижнього рівня розроблено на основі задачі стохастичного програмування. Це дозволяє враховувати неточність прогнозу прибуття поїздів на станцію.

5. З метою скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску, виконано декомпозицію задачі вибору черговості розпуску составів та розроблено модель задачі на основі двоетапної задачі стохастичного програмування.

6. З метою скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску, сформульовано критерії ідеальної послідовності розпуску. Виділено критерії ідеальної послідовності розпуску по парку прийому та по парку відправлення. Розроблено алгоритм використання критеріїв, що дозволить скоротити тривалість вирішення задачі вибору черговості розпуску составів.

7. Виконано оцінку ефективності використання запропонованої методики вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції Нижньодніпровськ-Вузол. Результати дослідження показали, що мінімальні витрати сортувальної станції досягаються при глибині планування на 3-4 состави. Очікувана річна економія при цьому становить близько 300-350 тис. грн. При вирішенні задачі за критерієм мінімуму відчепів у складах свого формування спостерігається асимптотичне збільшення довжини відчепів із збільшенням кількості составів, що включаються до графу варіантів. На практиці вибір черговості розпуску составів повинен здійснюватись шляхом компромісу між критеріями верхнього (мережевого) та нижнього (станційного) рівнів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

1. Бардась, А.А. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками [Текст]/ А.А. Бардась// Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – С. 150-152.
2. Бардась, О.О. Аналіз ефективності формування поїздопотоків при автоматизованому управлінні черговою розпуску [Текст]/ О.О. Бардась// Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 35-38.
3. Скалозуб, В.В. Удосконалення методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції [Текст]/ В.В. Скалозуб, О.О. Бардась// Збір. наук. праць Донецьк. ін-т. зал. тр-ту Укр. держ. акад. зал. тр-ту. – 2010. – Вип. 24.

– С. 46-52.

4. Скалозуб, В.В. О приближенной декомпозиции NP-полных задач управления сложными процессами [Текст] / В.В. Скалозуб, А.А. Бардась, М.В. Скалозуб// Системні технології. Регіональний міжвуз. збір. наук. праць. – 2011. – №4(75). – С. 174-184.

**Праці апробаційного характеру:**

5. Бардась, О.О. Підвищення економічної ефективності автоматизованих систем управління сортувальних станцій [Текст]/ О.О. Бардась// Проблеми економіки транспорту. VII Міжнар. науково-практична конф., 24-25 квітня 2008 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – С. 152.
6. Бардась, О.О. Удосконалення планування розпуску составів на сортувальних станціях на основі оперативних даних автоматизованих систем управління вантажними перевезеннями [Текст]/ О.О. Бардась// Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 15-16 травня 2008 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – С. 3.
7. Скалозуб, В.В. Дослідження економічного змісту задачі планування послідовності розпуску составів [Текст]/ В.В. Скалозуб, О.О. Бардась// Проблеми економіки транспорту. VIII Міжнар. науково-практична конф., 16-17 квітня 2009 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 146.
8. Бардась, О.О. Удосконалення автоматизованих систем планування розпуску составів [Текст]/ О.О. Бардась// Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 14-15 травня 2009 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 5-6.
9. Бардась, О.О. Оцінка залежності ефективності составоутворення від параметрів структури составів [Текст]/ О.О. Бардась// Проблеми економіки транспорту. IX Міжнар. науково-практична конф., 22-23 квітня 2010 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 24.
10. Бардась, О.О. Розвиток багаторівневої моделі управління поїздоутворенням на основі планування черговості розпуску составів [Текст]/ О.О. Бардась// Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 13-14 травня 2010 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 5-6.
11. Бардась, О.О. Дослідження ефективності составоутворення від параметрів структури составів, що накопичуються [Текст]/ О.О. Бардась// Інтеграція України в міжнародну транспортну систему. 2 Міжнар. науково-практична конф., 27-28 травня 2010.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 5-6.
12. Бардась, О.О. Про підвищення ефективності формування поїздопотоків в залізничних транспортних системах [Текст]/ О.О. Бардась// Проблеми та перспективи розвитку транспорту. 71 Міжнар. науково-практична конф., 14-15

квітня 2011 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 7.

13. Бардась, О.О. Розвиток методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції [Текст]/ О.О. Бардась// Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 12-13 травня 2011 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 122-123.
14. Бардась, О.О. Удосконалення управління залізничними транспортними системами за рахунок вибору черговості розпуску составів [Текст]/ О.О. Бардась// Інтеграція України в міжнародну транспортну систему. 3 Міжнар. науково-практична конф., 17-18 листопада 2011.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 7-8.

### АНОТАЦІЯ

Бардась О.О. Підвищення ефективності поїздоутворення шляхом вибору черговості розпуску составів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2012.

У роботі отримано нове рішення комплексного завдання щодо підвищення ефективності процесів поїздоутворення шляхом вибору черговості розпуску составів (ВЧРС) на сортувальних станціях, в якому ураховується багатоетапність переробки вагонопотоків на залізничних мережах. Завдання ВЧРС для мережі станцій представлено комбінаторними оптимізаційними моделями планування у детермінованих та стохастичних постановках, з урахуванням одного та двох критеріїв якості.

Сформульовано нове завдання і розроблені математичні моделі для планування поїздоутворення на сортувальних станціях транспортної мережі, що дозволяє підвищити їх ефективність за рахунок використання додаткової системної інформації про вагонопотоки. Сформульовано критерій ефективності черговості розпуску составів на основі показника якості структури поїздів свого формування. Така структура оцінюється середньою довжиною відцепу у сформованому составі. Використання критерію дозволить зменшити експлуатаційні витрати на наступних технічних станціях. Запропоновано лексикографічне відношення критеріїв ефективності черговості розпуску составів та виконано постановку задачі визначення черговості розпуску составів для транспортної мережі.

Вперше завдання ВЧРС подано у стохастичній постановці та запропоновано метод її вирішення на основі двоетапної моделі стохастичного програмування. Модель ураховує стохастичну природу прогнозу прибуття поїздів на сортувальну станцію і дозволяє зменшити обсяги розрахунків ВЧРС. Для скорочення перебору варіантів уперше для ВЧРС також уведено поняття ідеальних послідовностей розпуску, запропоновано дві форми ідеальної послідовності – по парку прийому, яка відповідає максимально можливому темпу накопичення составів, та по парку відправлення, яка відповідає мінімально допустимому темпу накопичення.

**Ключові слова:** поїздоутворення, залізнична мережа, черговість розпуску

составів, оптимальне планування, прогноз прибуття поїздів, довжина відцепу, автоматизовані системи.

## АННОТАЦИЯ

Бардась А. А. Повышение эффективности поездообразования путем выбора очередности роспуска составов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2011.

В работе получено новое решение комплексного задания по повышению эффективности процессов поездообразования путем выбора очередности роспуска составов (ВОРС) на сортировочных станциях, в котором учитывается многоэтапность переработки вагонопотоков на железнодорожных сетях. Задание ВОРС для сети станций представлено комбинаторными оптимизационными моделями планирования в детерминированных и стохастических постановках, с учетом одного или двух критериев качества.

Выполнены исследования характеристик движения поездов по участкам методами хаотической динамики, которые показали, что исследуемые процессы могут быть антиперсистентными. В этих условиях предложено и реализовано прогнозирование методами экспертных систем.

Сформулировано новое задание и разработаны математические модели для планирования поездообразования на сортировочных станциях транспортной сети, что позволяет повысить их эффективность за счет использования дополнительной системной информации про вагонопотоки. Сформулирован критерий эффективности очередности роспуска составов на основе показателя качества структуры поездов своего формирования. Такая структура оценивается средней длиной отцепы в сформированном составе. Использование критерия позволяет уменьшить эксплуатационные расходы на следующих технических станциях. Предложено лексикографическое отношение критериев эффективности очередности роспуска составов и выполнено постановку задачи выбора очередности роспуска составов для транспортной сети в виде двухуровневой модели. Модель нижнего уровня предусматривает минимизацию общих эксплуатационных расходов отдельной сортировочной станции, а модель верхнего уровня – создания благоприятных условий переработки вагонопотоков на следующих технических станциях. Для решения задачи предложено использовать метод последовательных уступок.

Впервые задание ВОРС подано в стохастической постановке и предложено метод его решения на основе двухэтапной модели стохастического программирования. Модель учитывает стохастическую природу прогноза прибытия поездов на сортировочную станцию и позволяет уменьшить объемы расчетов ВОРС за счет декомпозиции графа вариантов очередности роспуска на менее громоздкие процессы. Для сокращения перебора вариантов впервые для ВОРС также введено понятие идеальных последовательностей роспуска, предложено две формы идеальной последовательности – по парку приема, которое соответствует максимально возможному темпу накопления составов, и по парку отправления, которое соответствует минимально допустимому темпу накопления.

Выполнена оценка экономической эффективности разработанной методики планирования поездообразования на сортировочных станциях, которая показала значительное сокращение эксплуатационных расходов сортировочной станции за счет рационального выбора очередности роспуска составов.

**Ключевые слова:** поездообразование, железнодорожная сеть, очередность роспуска составов, оптимальное планирование, прогноз прибытия поездов, длина отцепы, автоматизированные системы.

### THE SUMMARY

Bardas O. O. The improvement of the efficiency of the trainforming planning, based on the choice of train's dissolution order

Dissertation on winning of scientific candidate degree of technical sciences on speciality 05.22.21 – Transport systems – Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan, 2012.

In the dissertation was obtained a new solution of the complex task of the efficiency of processes of trainforming by choosing the train's dissolution order on the switching stations, in witch is accounted multistage of the car's operation on the railway network. Task of the choosing the train's dissolution order for the station's network is presented by the combinatorial optimization models of planning in the deterministic and stochastic productions, taking into account one or two quality criteria.

First formulated by a task and developed mathematical models for planning of the trainforming on the switching stations of the transport network, that improves the efficiency of their operation through the use of additional system information about cars. Was formulated the efficiency criterion of the train's dissolution order based on the quality index of the structure of trains, forming on the station. Using the criterion will reduce operating costs on the next technical stations. Proposed lexicographical attitude of the efficiency criterion of the train's dissolution and made the statement of the task of the train's dissolution order for the transportation network.

First formulated the problem of the selection the order of train's dissolution in the stochastic formulation and the method of its solution on the basis of two-stage stochastic programming problem. Model takes into account the stochastic nature of the forecast arrival of trains at switching stations and reduce the amount of calculations related to the analysis of sequence variants of the dissolution. For the reducing the amount of calculations related to the analysis of sequence variants of the dissolution, was improved the method of the analysis of sequence variants of the train's dissolution by introducing the concept of the ideal order of dissolution.

Key words: trainforming planning, railway net, optimal planning, train disbandment order, forecast arrival of trains, length of car cuts, automated systems

БАРДАСЬ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ  
ШЛЯХОМ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку „27” квітня 2012 р. Формат 60x84 1/16.  
Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк.1,0. Тираж 100 прим. Замовлення № \_\_\_\_

Видавництво Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК №1315 від 31.03.03

*Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:  
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2*