

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

С.М. Турпак

ТЕКСТИ (конспект) лекцій з дисципліни

«Залізничний транспорт промислових підприємств»
для студентів спеціальності
275 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»
усіх форм навчання

2024

Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Залізничний транспорт промислових підприємств» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» усіх форм навчання / Укл.: С.М. Турпак, О.О. Падченко, Т.В. Кальченко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 78 с.

Укладачі: С.М. Турпак, професор, д-р техн. наук;
О.О. Острогляд, канд. техн. наук;
О.О. Падченко, старш. викладач;
Т.В. Кальченко, зав. навч. лаб.

Рецензент: О.Ф. Кузькін, професор, д-р техн. наук.

Відповідальний
за випуск: Г.О. Лебідь, старш. викладач.

Затверджено на засіданні
кафедри «Транспортні технології»
протокол № 2
від 08 серпня 2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
протокол № 2
від 22 серпня 2024 р.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	4
Вступ.....	5
Змістовий модуль 1. Формалізація мікрологістичних систем промислових підприємств та визначення оптимальних параметрів їх функціонування.....	7
Тема 1. Формалізація мікрологістичних систем промислових підприємств.....	7
1.1 Мета та завдання систем управління.....	7
1.2 Поняття та принципи мікрологістичних систем підприємств.....	9
1.3 Виділення базових мікрологістичних підсистем	10
Тема 2. Принципи мікрологістичного управління процесами перевезень ЗТПП	17
2.1 Принципи системного підходу до управління мікрологістичною системою ЗТПП	17
2.2 Системна постановка основних задач управління процесами ЗТПП.....	21
Тема 3. Розробка моделей та інтелектуальних систем управління на залізничному транспорті металургійних підприємств.....	25
3.1 Інтелектуалізація систем управління на ЗТПМ.....	25
3.2 Імітаційне моделювання вхідних вагонопотоків МЛС ЗТПП... ..	27
Змістовий модуль 2. Оптимізація параметрів функціонування МЛС ЗТПП	34
Тема 4. Моделювання роботи МЛС доставки вантажів на ЗТПП... ..	34
Тема 5. Моделювання роботи МЛС відвантаження готової продукції ЗТПП	44
Тема 6. Підвищення ефективності МЛС ЗТПП визначенням оптимальних параметрів функціонування.....	52
6.1 Розробка методу багатокритеріальної оптимізації на імітаційних моделях МЛС ЗТПП	52
6.2 Типова модель управління ланцюгом постачань в МЛС ЗТПП	53
Тема 7. Встановлення параметрів МЛС перевезень рідкого чавуну та шлаку.....	59
Список використаних джерел.....	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління;
ЗССЛУ – загальна структура системи логістичного управління;
ЗТПП – залізничний транспорт промислових підприємств;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЕПД – електронні перевізні документи;
ЄТП – єдиний технологічний процес;
МЛС – мікрологістична система;
НРМ – навантажувально-розвантажувальна машина;
ПВМЗТ – підсистема взаємодії з магістральним залізничним транспортом;
ПВПТП – підсистема взаємодії з промисловим транспортом підприємств;
ПТМ – підйомно-транспортні машини;
СППР – система підтримки прийняття рішень;
СЦБ – сигналізація, централізація, блокування;
УЗТ – Управління залізничного транспорту;
ЦЕ – цех експлуатації;
ЦШП – цех шлакопереробки.

ВСТУП

В промисловому секторі економіки серед всіх видів транспорту, які забезпечують його функціонування, залізничний посідає провідне місце. Він забезпечує переміщення вантажів між ланками технологічних процесів та при їх безпосередньому виконанні; здійснює доставку сировини, палива, обладнання, матеріалів для виробництва від постачальників та готової продукції споживачам у взаємодії з магістральним залізничним транспортом.

Окремі системи залізничного транспорту промислових підприємств (ЗТПП) являються містоутворюючими та характеризуються великою кількістю вагонів (1-3 тисячі) та локомотивів (до 200), значними колійним розвитком (0,2-0,9 тис. км) та обсягом перевезень (2-6 млн. тонн на рік готової продукції та в кілька разів більший обсяг внутрішніх перевезень).

Управління ЗТПП спирається на розподіл наявних ресурсів з метою досягнення параметрами та показниками роботи транспорту таких значень, які відповідають запланованим, або знаходяться у визначеному діапазоні. Планові значення показників на підприємствах, зазвичай, визначаються шляхом аналітичних розрахунків, або експертним методом, спираючись на статистичні дані минулих періодів. Виходячи з цього, виділено наступні напрямки досліджень.

Першим напрямом досліджень є визначення планових показників функціонування ЗТПП. Чим більш якісно показник характеризує роботу транспорту та відповідає реальній можливості його досягнення, тим вище мотивація транспортних працівників та, відповідно, більш вагомі результати їх спільної діяльності.

Другим напрямом досліджень є вибір шляхів виконання планових та покращення фактичних показників роботи ЗТПП. Основними процесами в транспортній системі підприємства є процеси переміщення вантажів та транспортних засобів. Виконання цих процесів за умови дотримання заданих параметрів (обмежень кількості локомотивів і вагонів та ін.) потребує розв'язання низки оптимізаційних задач. До них відносяться задачі вибору типу транспортних засобів, визначення розмірів передавальних составів, розробка маршрутів руху, розподіл ресурсів та ін. Використання існуючих методів розв'язання окремих задач не вирішує питання

загальної оптимізації всіх складових логістичного ланцюга доставки вантажів (матеріальних, інформаційних, транспортних, фінансових потоків). Пошук оптимальних рішень при управлінні залізничними перевезеннями завжди є актуальним питанням для підприємств.

Третій напрям досліджень передбачає консолідацію методів оптимізації роботи ЗТПП в структурі системи підтримки прийняття рішень (СППР). Він обумовлений тим, що кожен метод оптимізації має свою сферу ефективного застосування та потребує ідеалізації певних параметрів системи. За таких умов не повністю враховуються реальні процеси та, відповідно, отримані результати мають похибки, і вироблені на їх основі управлінські рішення можуть бути менш ефективними, ніж рекомендації людини-експерта.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Формалізація мікрологістичних систем промислових підприємств та визначення оптимальних параметрів їх функціонування

Тема 1. Формалізація мікрологістичних систем промислових підприємств

1.1 Мета та завдання систем управління

Система залізничного транспорту металургійного підприємства об'єднує низку процесів: транспортування вантажів у вагонах; процеси підготовки вантажів, вагонів, документів; процеси виконання вантажних робіт; процеси взаємодії з виробництвом та іншими видами транспорту.

Головна мета систем управління процесами ЗТПП – формування логістичних ланцюгів, об'єднання функціональних модулів системи з метою ефективного їх функціонування.

Ефективність, в першу чергу, полягає в своєчасній доставці вантажів (сировини, палива, матеріалів та ін.) до виробничих підрозділів, складів підприємства; своєчасному подаванні порожніх вагонів до пунктів навантаження за умови дотримання вимог документів, які регламентують організацію робіт (нормативи з охорони праці та безпеки руху, контактні графіки обслуговування цехів та ін.).

Другим показником ефективності є мінімізація питомих витрат на одиницю транспортної роботи та покращення інших показників роботи транспорту (наприклад, зниження вартості локомотиво-години, тривалості простою вагонів, вартості плати за користування вагонами тощо).

В третю чергу ефективність полягає в покращенні таких показників, як рівень комплексної механізації праці, зниженні кількості порушень правил безпеки на транспорті, удосконаленні технічного оснащення.

Цілі систем управління процесами ЗТПП досягаються розв'язанням комплексу логістичних задач, який складається з трьох рівнів: глобальний, загальний, відокремлений.

Глобальний рівень передбачає вирішення задачі раціонального та збалансованого використання ресурсів транспортної системи, при якому загальні витрати на перевезення та виконання супутніх технологічних операцій є мінімальними, а плани робіт – виконаними своєчасно та в повному обсязі.

Загальний рівень передбачає розв'язання наступних задач:

- розробка оптимальних маршрутів руху составів поїздів на підприємстві;

- оптимізація розподілу власного рухомого складу для перевезень;

- визначення оптимальної кількості вагонів в поїздах та передавальних составах;

- оптимізація розмірів вагонних парків різних типів рухомого складу підприємства;

- оптимізація розподілу ресурсів (НРМ, локомотивів та ін.);

- оптимізація запасів вантажів на складах.

До відокремленого рівня відносяться оптимізаційні задачі:

- розміщення вантажів у рухомому складі;

- комплектації заказів;

- виконання процесів вантажопереробки та розміщення вантажів на складах;

- вибору рухомого складу залізниць або операторських компаній для перевезень певних вантажів;

- організації роботи транспорту в холодний період року;

- встановлення черговості обслуговування транспортних засобів;

- управління процесами взаємодії з іншими видами транспорту та виробництвом.

Вирішення поставлених задач повинно здійснюватись при узгодженій роботі транспортних, виробничих підрозділів та підрозділів з підготовки виробництва. Важливе значення має структура управління підприємства. Раніше на підприємствах металургійної галузі транспортні завдання вирішувались управліннями залізничного транспорту або залізничними (транспортними) цехами, іноді ці питання відносились до сфери діяльності підрозділів зі збуту або виробництва. Найбільш вдалим було створення дирекцій з транспорту, які в дійсний час

трансформуються в дирекції з транспорту та логістики, що більш точно формулює їх сферу повноважень та функцій.

1.2 Поняття та принципи мікрологістичних систем металургійних підприємств

Сфера використання логістичного підходу охоплює різні види систем. Вона може міститись у межах підприємств, або охоплювати цілі міста. З цих позицій виділяють різні рівні логістичних систем: від мікрологістичних до макро- і мезологістичних. Транспортні системи металургійних підприємств можна розглядати з різних позицій логістичного підходу.

Ці системи можуть вважатися частиною (підсистемою) більш складних і великих систем, наприклад, торгівельно-промислових груп. Такі системи виходять за межі напрямків досліджень в сфері промислового транспорту.

З позицій системного підходу транспортно-складський комплекс металургійного підприємства представляє собою логістичну систему верхнього рівня. В цьому випадку вона характеризується вхідними та вихідними матеріальними потоками транспортних засобів і вантажів та супроводжуваними їх інформаційними (документальними), фінансовими та ін. потоками.

Ця система є мікрологістичною, управління транспортними та вантажопотоками повністю відноситься до функцій промислового транспорту підприємства.

З іншими системами (підприємства-постачальники, споживачі; об'єкти транспортної інфраструктури – порти, залізничні станції примикання та ін.) вона обмінюється управляючими впливами, які виробляються на основі обробки та аналізу інформаційних потоків.

З позицій класифікації вхідних та вихідних транспортних потоків мікрологістична система промислового транспорту металургійного підприємства, як правило, складається з двох підсистем: залізничного і автомобільного транспорту. При цьому характерним є те, що підсистема залізничного транспорту, у порівнянні з підсистемою автомобільного транспорту, є більшою за масштабом, структурою, кількістю та складністю процесів, які в ній протікають.

До загальної МЛС ЗТПП входить сукупність підрозділів підприємства і технічних засобів, технологічних процесів та операцій, управляючих впливів на перевізний процес; матеріальні потоки (транспортні та вантажопотоки), інформаційні (документальні) та фінансові потоки.

Підсистемами першого рангу загальної МЛС ЗТПП є дирекції з транспорту та логістики, виробництва, постачання та збуту; підрозділи, які контролюють якість сировини та готової продукції; виконують приймання вхідних потоків вантажів та ін. Кожна підсистема виконує власні функції, що окреслює межі її самостійності, але всі вони інтегровані у єдину систему та виконують цілеспрямовані дії щодо забезпечення її головної задачі – ефективного виконання процесів доставки вантажів та пов'язаних з ними технологічних процесів.

Підсистемами другого рангу загальної МЛС ЗТПП є цех експлуатації, вантажна служба, залізничні станції (райони), служба поточного утримання та ремонту колії, служба СЦБ (сигналізації, централізації, блокування), локомотиво- та вагоноремонтні депо, вантажні пункти виробничих підрозділів, склади та ін.

Елементами загальної МЛС ЗТПП (та її підсистем) є перегони, приймально-відправні та сортувальні парки (колії), пункти екіпірування, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, пристрої відновлення сипкості вантажів, вагові, вантажні фронти та пункти очищення вагонів.

1.3 Виділення базових мікрологістичних підсистем

Логістичний ланцюг металургійного підприємства починається з пунктів постачання сировини, палива, матеріалів для виробництва та закінчується пунктами споживання готової продукції. В центральній частині цього ланцюга виконуються процеси переміщення вантажів, транспортних засобів та передачі інформації безпосередньо на підприємстві, тому вони є найбільш керованими з позиції апарату управління. Системи, в яких протікають ці процеси, є транспортно-виробничими, їх виконання забезпечує промисловий транспорт, а найбільший обсяг перевезень припадає на залізничний транспорт підприємства.

На рисунку 1.1 наведено структуру зовнішніх вантажопотоків металургійного підприємства.

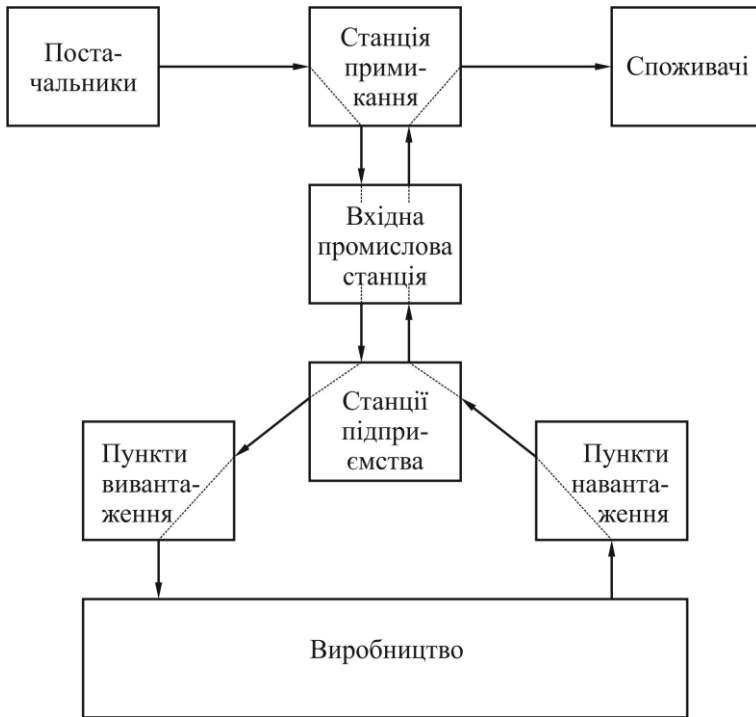


Рисунок 1.1 – Структура зовнішніх вантажопотоків металургійного підприємства

Основні пункти зародження вантажопотоків, зазвичай, знаходяться на відстані 100-300 км від підприємства, але є й такі, які знаходяться на відстані, яка вимірюється тисячами кілометрів. Чим більше відстань перевезень, тим менш точним є прогнозування часу на рух вантажів, та, відповідно складніше управління процесами їх переміщення. В таких умовах особливо складно управляти немаршрутизованими завантаженими вагонопотоками.

На рисунку 1.2 наведено структуру зовнішніх вагонопотоків металургійного підприємства.



Рисунок 1.2 – Структура зовнішніх вагонопотоків металургійного підприємства

В структурі внутрішніх вантажопотоків та вагонопотоків металургійного підприємства відсутні елементи постачальники – станція примикання – вхідна промислова станція – споживачі. Структуру внутрішніх вантажопотоків металургійного підприємства наведено на рисунку 1.3.

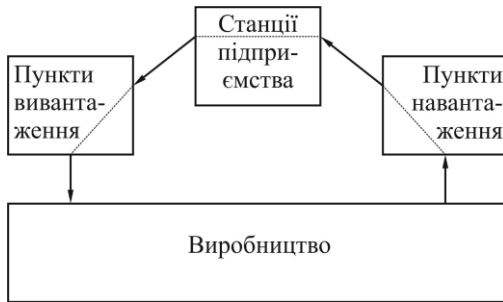


Рисунок 1.3 – Структура внутрішніх вантажопотоків металургійного підприємства

На рисунку 1.4 наведено структуру внутрішніх вагонопотоків металургійного підприємства.



Рисунок 1.4 – Структура внутрішніх вагонопотоків металургійного підприємства

Інформаційні (документальні) потоки супроводжують матеріальні (вантажопотоки, вагонопотоки), випереджаючи їх. Так, інформація щодо очікуваного часу відправлення вагонів та їх кількості узгоджується з постачальником, інформація щодо подальшого просування вагонів може бути отримана від оператора перевезень або залізничних адміністрацій.

Паперова документація поступово витісняється електронними документами, що забезпечує безперешкодний рух матеріальних потоків.

Таким чином, в структурі загальної МЛС ЗТПП доцільно виділити мікрологістичну підсистему обслуговування зовнішніх потоків та підсистему внутрішніх перевезень.

Підсистеми обслуговування зовнішніх потоків МЛС ЗТПП розділяються на підсистеми взаємодії з магістральним залізничним транспортом (ПВМЗТ) та підсистеми взаємодії з промисловим транспортом інших підприємств (ПВПТП).

Наприклад, комбінат «Запоріжсталь» отримує більшість вантажів зі станції примикання «Запоріжжя-Ліве» Придніпровської залізниці, та значні обсяги коксу, коксового дріб'язку надходять зі станції Південна підприємства «Запоріжкокс»; надходження сировини та матеріалів (вогнетриви, вапно та ін.) здійснюється ще з декількох підприємств, у зворотному напрямку здійснюється перевезення готової продукції (рідкий чавун, злитки, металопрокат) та відходів виробництва (лом вогнетривів, шлак, тріска).

Процеси перевезень в ПВМЗТ та ПВПТП схожі, відмінності ПВПТП полягають у наступному:

- децентралізація пунктів вхідного контролю продукції;
- приймання вантажів за кількістю та якістю припускає спільну присутність представників близько розташованих підприємств. Це виключає тривалий простій транспортних засобів в очкуванні прибуття спеціалістів для узгодження результатів приймання при виявленні нестачі або продукції неналежної якості;
- для перевезень використовується, як правило, спеціалізований рухомий склад власного парку підприємств, можуть суттєво спрощуватись процедури огляду, підготовки до перевезень та ін.;
- процеси надходження партій вантажів можна вважати детермінованими, оскільки вони менш піддаються стохастичному впливу зовнішніх факторів. Це сприяє ефективному плануванню роботи транспорту;
- як правило, процедура комерційного огляду та оформлення перевізних документів спрощена.

Перевезення в ПВМЗТ передбачають рух составів з однорідними вантажами (маршрутні состави) та составів з різнорідними вантажами. Технологічні процеси обробки таких вагонопотоків суттєво відрізняються.

Однорідні вантажі можуть рухатись зі станції примикання до кінцевого пункту вивантаження металургійного підприємства без переробки на шляху прямування. Виняток складають випадки доставки однорідних вантажів різним підрозділам. Состави з різнорідними вантажами (та різними пунктами призначення) потребують сортування, накопичення на станційних коліях, формування з іншими вагонами попутного прямування тощо.

Тому ПВМЗТ розділяються на підсистеми з переміщенням составів з однорідними вантажами переважно одного пункту призначення та підсистеми з переміщенням составів з вантажами для різних пунктів призначення.

На рисунку 1.5 представлена класифікація підсистем загальної МЛС ЗТПП за функціонально-організаційними признаками.



Рисунок 1.5 – Класифікація загальної МЛІС ЗТМП за функціонально-організаційними ознаками

Представлені на рисунку 1.5 підсистеми складаються з модулів, якими фізично є транспортно-вантажні комплекси, залізничні станції та ін. Модулі, в свою чергу, складаються з елементів – парків або окремих колій, вантажних фронтів, пристроїв відновлення сипкості та ін. Модуль характеризується входами і виходами та має певну цілісність.

На відміну від поняття «чорної скриньки» у кібернетиці, модуль – це об’єкт, у якому відома не тільки залежність виходів від входів. При необхідності є можливість проаналізувати, що відбувається у ньому, але, за певних умов, потреба у цьому може бути відсутня.

За допомогою модулів можна виділити в середині системи ЗТМП системи доставки сировини, перевезення готової продукції та ін.

Структура сфер взаємодії загальної МЛІС ЗТМП приведена на рисунку 1.6.

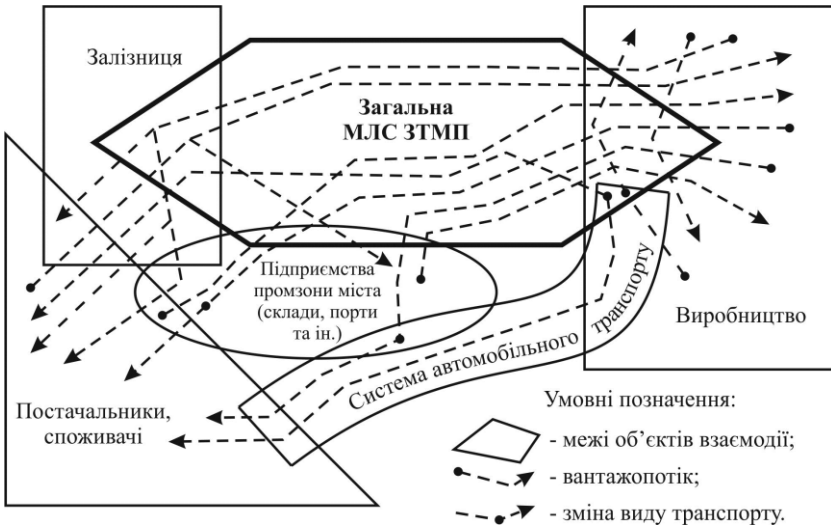


Рисунок 1.6 – Сфери взаємодії загальної МЛС ЗТМП

Структура основних функціональних зв'язків загальної МЛС ЗТМП приведена на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Основні функціональні зв'язки загальної МЛС ЗТМП

Таким чином, шляхом методів системного аналізу, таких, як декомпозиція та графічне подання виділена загальна МЛС ЗТМП та визначене її місце, сфери взаємодії з іншими системами, основні функціональні зв'язки та структура підсистем нижчого рангу.

Тема 2. Принципи мікрологістичного управління процесами перевезень ЗТПП

2.1 Принципи системного підходу до управління мікрологістичною системою ЗТПП

Основні задачі управління та теоретичні положення.

Основними середньостроковими та довгостроковими задачами управління процесами перевезень ЗТПП є наступні:

- поетапний технічний розвиток та перспективне переоснащення залізничних станцій, вагонного та локомотивного парків, вантажних фронтів, ПТМ, засобів автоматизації, зв'язку та ін.;
- впровадження заходів щодо скорочення витрат паливно-мастильних матеріалів та енергозбереження;
- удосконалення транспортно-технологічних процесів, скорочення термінів доставки вантажів в межах підприємства;
- розвиток інформаційних технологій;
- підвищення ефективності взаємодії виробництва та транспорту, управління запасами;
- удосконалення правових відносин із суб'єктами залізничного магістрального транспорту.

Основними задачами оперативного управління процесами перевезень ЗТПП є наступні:

- виконання технологічних перевезень первинної продукції пірометалургії: гарячого агломерату, рідкого чавуну, шлаку, сталі, гарячих злитків;
- виконання контактних графіків перевезень;
- забезпечення ефективного транспортного обслуговування цехів при реалізації добового плану виробництва;
- виконання термінів знаходження вагонів на під'їзній колії;
- виконання термінів обороту вагонів місцевого парку, які не задіяні в перевезеннях за контактними графіками;
- максимально ефективно за продуктивністю використання наявних ресурсів: локомотивів, ПТМ та ін.

В мікрологістичній системі ЗТПП, як було зазначено раніше, можна виділити окремі підсистеми, які, в свою чергу, також можуть розглядатись у якості систем з усіма притаманними для систем

властивостями, у т.ч. можливості подальшого поділення. Кінцевий результат поділення є елементом системи.

В умовах появи нових елементів або ліквідації існуючих, зміни певних параметрів роботи, необхідна реорганізація не всієї системи ЗТПП, а лише окремих її підсистем. На рисунку 2.1 показана функціонально-інформаційна структура управління підсистемами ЗТПП.

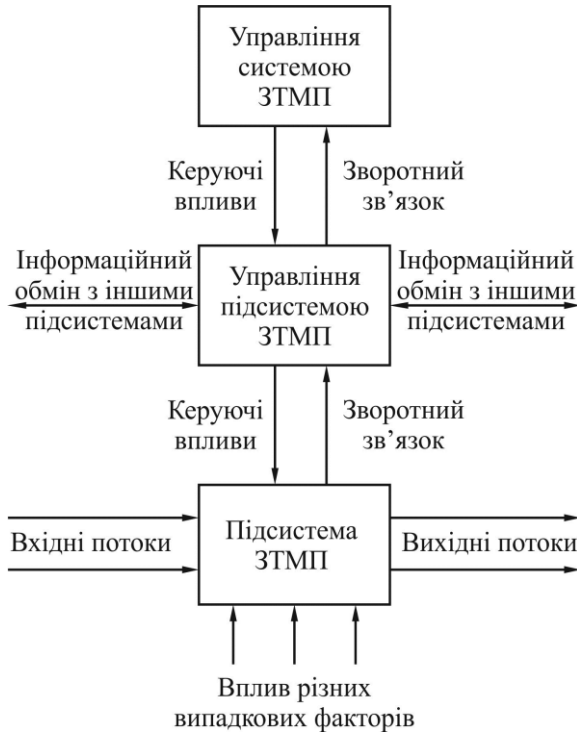


Рисунок 2.1 – Функціонально-інформаційна структура управління підсистемами ЗТПП

Підсистема ЗТПП (наприклад, промислова станція, парк колій або вантажний пункт) отримує керуючі впливи від управління підсистемою, які виробляються на основі інформаційного обміну з

іншими підсистемами, керуючих впливів від систем більш високого рангу та зворотного зв'язку з керованою підсистемою.

В систему надходять потоки вантажів, вагонів, які обробляються за певним транспортно-технологічним процесом та передаються до інших систем.

Підсистема ЗТПП знаходиться під впливом різних випадкових факторів, які на певний час суттєво змінюють параметри її елементів (порушення виробничих процесів, вихід з ладу ПТМ та іншого обладнання, ушкодження транспортних засобів, аварії та ін.)

Функціонально-організаційна структура загальної МЛС ЗТПП. Стосовно загальноприйнятої концепції укрупненої структури логістичної системи металургійного підприємства, її основними складовими частинами (за порядком руху матеріальних потоків) є система постачання сировини, палива, обладнання та інших матеріалів для виробництва, система технологічного комплексу підприємства та система споживання готової продукції.

З теоретичних позицій, викладених у даному розділі, загальна мікрологістична система ЗТПП входить до складу системи технологічного комплексу підприємства, як частина загальної логістичної системи.

Функціонально-організаційна структура загальної МЛС ЗТПП представлена на рисунку 2.2.

Загальна МЛС металургійного підприємства за функціонально-організаційними та технологічними признаками умовно розділена на площини, які є її підсистемами, з позначенням на них вантажопотоків та проєкцій об'єктів інфраструктури. Представлена структура представляє собою образну модель загальної МЛС ЗТПП.

Системна постановка основних завдань управління процесами перевезень ЗТПП. Формулювання основних завдань управління процесами перевезень базується на виконанні головних показників роботи ЗТПП. Основний напрямок ефективного управління – максимізація використання наявних ресурсів (логістичного інвентарю) при мінімізації логістичних витрат на доставку вантажів.

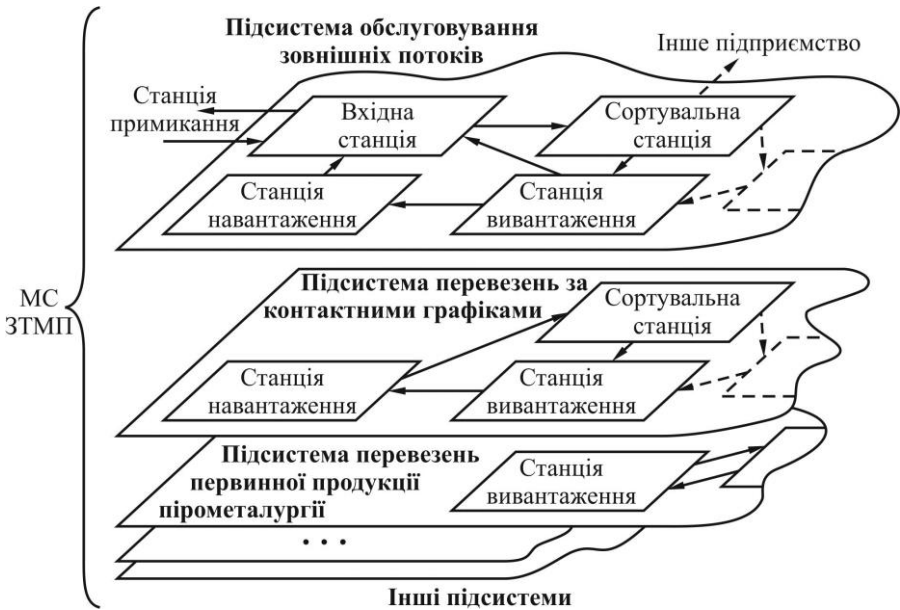


Рисунок 2.2 – Функціонально-організаційна структура загальної МЛС ЗТПП

Головні ресурси ЗТПП – це локомотиви, вагони, ПТМ, колійний розвиток, пункти технічного обслуговування та ремонту, екіпірування та ін.

Елемент транспортної системи, який безпосередньо переміщує вантаж – це залізничний вагон.

Ключовими показниками ефективної експлуатації вагонів є:

- своєчасне виконання перевезень у спеціальному рухомому складі гарячого агломерату, рідкого чавуну, сталі та шлаку;
- ступінь виконання контактних графіків перевезень вантажів на підприємстві;
- час знаходження вагонів магістрального парку на під'їзній колії підприємства;
- час простою на промислових станціях вагонів місцевого парку, перевезення яких не охоплене контактними графіками.

2.2 Системна постановка основних задач управління процесами ЗТПП

Виконані в даній роботі дослідження показали, що основними процесами в системі ЗТПП є: процеси перевезень у спеціальному рухомому складі гарячого агломерату, рідкого чавуну, сталі та шлаку; процеси перевезень за контактними графіками; процеси перевезень вагонів, які надходять зі станції примикання; процеси нерегулярних перевезень за замовленнями цехів та у взаємодії з іншими підприємствами. Загальна модель процесів перевезень ЗТПП представлена на рисунку 2.3.

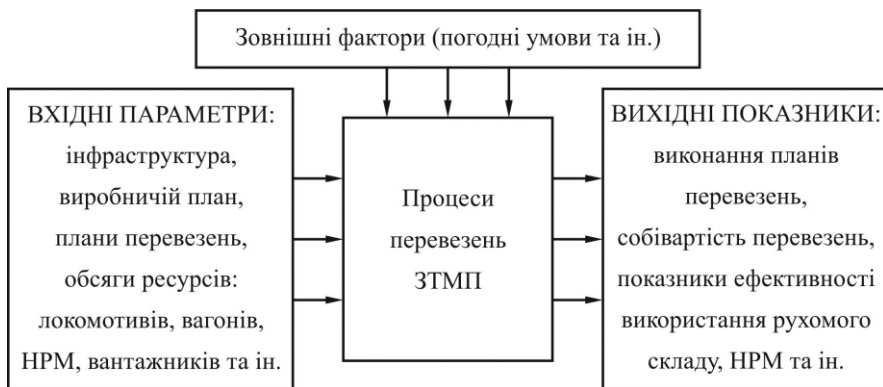
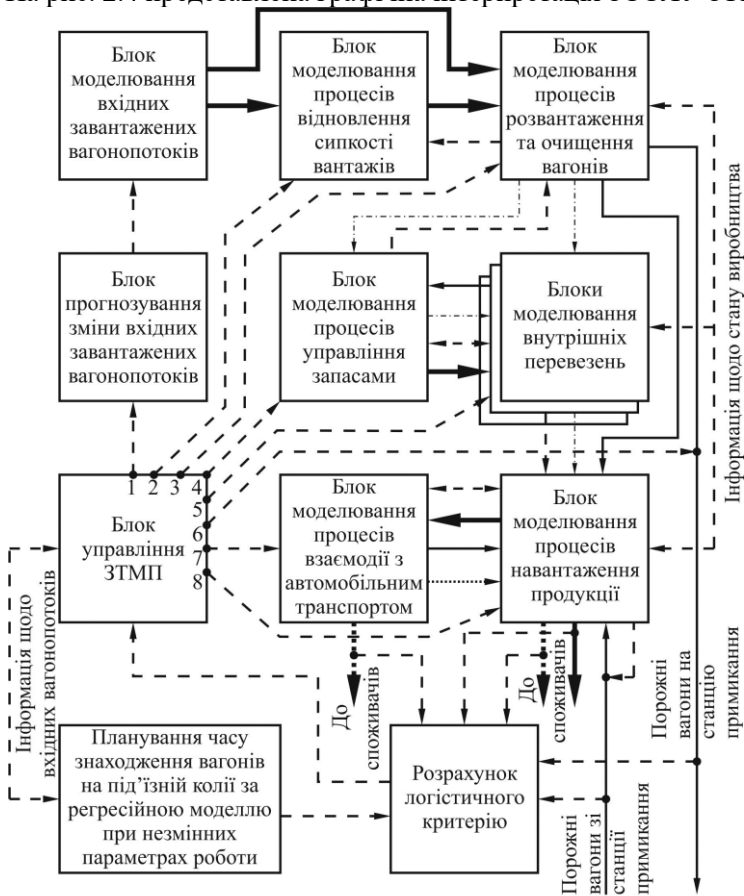


Рисунок 2.3 – Загальна модель процесів перевезень ЗТПП

Хід протікання процесів перевезень на ЗТПП залежить від вхідних параметрів, якими є наявна інфраструктура – колійний розвиток, виробничі, транспортні та допоміжні об’єкти; виробничий план та плани перевезень, обсяги перевезень клієнтури; наявний власний та орендний парк вагонів та локомотивів, запаси вантажів на складах, обсяги транспортного обслуговування ремонтних робіт, характеристик розміщення вантажів у вагонах та ін.

На хід процесів впливають різні зовнішні фактори: погодні умови, тимчасові обмеження перевезень по залізницях, планові та аварійні роботи на підприємстві та ін. Кожен процес характеризується певним колом задач та зв’язками з іншими процесами.

На рис. 2.4 представлена графічна інтерпретація ЗССЛУ ЗТПП.



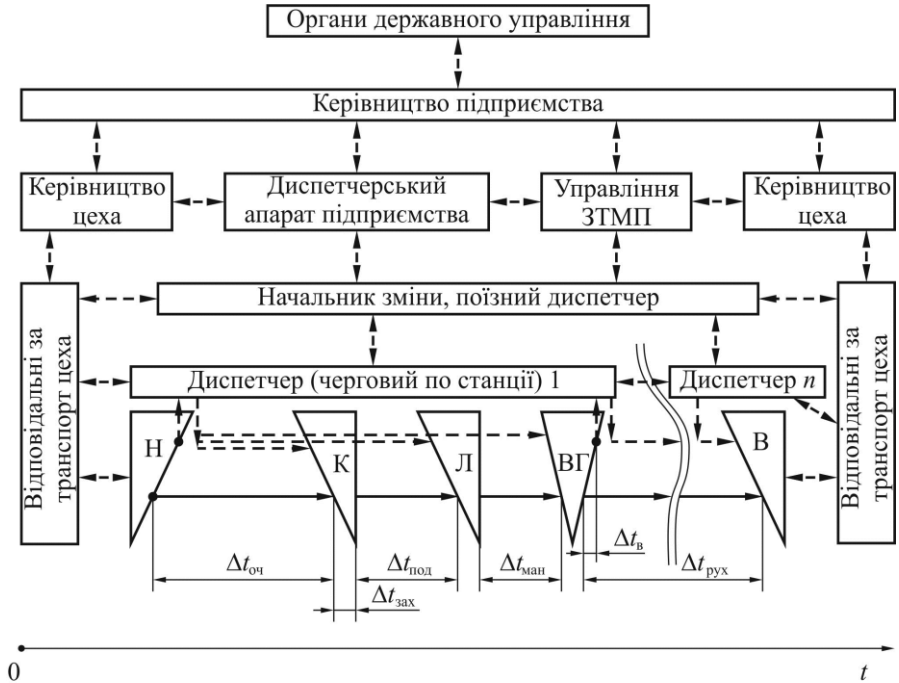
Умовні позначення:

- | | | |
|---|-----------|---------------------------------|
| 1 - зміна обсягів поставачань, типу вагонів, розміру передавального складу; | - - - - - | - інформаційний потік; |
| 2 - управління черговістю розігрівання партій вантажів; | → | - завантажений вагонопотік; |
| 3 - управління розподілом вантажів та вантажників по вантажних фронтах; | → | - порожній вагонопотік; |
| 4 - управління розміром складського запасу; |▶ | - завантажений автомобілепотік; |
| 5 - управління кількістю рухомого складу та зміна контактних графіків роботи; |▶ | - порожній автомобілепотік; |
| 6 - управління резервом порожніх вагонів; | - - - - - | - вантажопотік (конвєси, НРМ). |
| 7 - зміна частки перевезень автотранспортом; | | |
| 8 - вибір схем навантаження. | | |

Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація ЗССЛУ ЗТПП

На рисунку 2.4 числами 1-8 позначені параметри, ефективно управління якими дозволяє виконати загальну оптимізацію системи.

Для реалізації оптимізаційних рішень використовується функціонально-інформаційна структура мікрологістичної системи управління перевезеннями на ЗТПП, яка представлена на рисунку 2.5.



Умовні позначення:

- > - фази процесу просування вантажопотоку; - -> - інформаційні потоки;
 Н - пункт навантаження; К - ресурс «ділянка колії»; Л - ресурс «локомотив»;
 ВГ - ресурс «вагон»; В - пункт вивантаження.

Рисунок 2.5 – Функціонально-інформаційна структура мікрологістичної системи управління перевезеннями на ЗТПП

Представлена структура системи управління передбачає декілька рангів інформаційних потоків.

Інформація першого рангу – це законодавчі документи, які регламентують роботу транспорту (у т.ч. тимчасові заборони та обмеження зовнішніх перевезень).

Інформація другого рангу – це накази та вказівки керівництва підприємства (інструкції, затверджені контактні графіки перевезень та ін.).

Інформація третього рангу складається з нормативних документів та вказівок Управління ЗТПП, сформованих з урахуванням рішень, отриманих на загальній моделі оптимізації, які узгоджуються з керівництвом цехів та інших підрозділів. У якості оперативного координатора міжцехових зв'язків виступає диспетчерський апарат підприємства.

Інформаційний обмін четвертого рангу передбачає зв'язок початкового та кінцевого пунктів з диспетчерським апаратом Управління ЗТПП, передачу інформаційного потоку по шляху просування вантажу.

Просування вантажопотоку складається з фаз:

- очікування обслуговування ($\Delta t_{оч}$);
- захоплення ресурсів ($\Delta t_{зах}$);
- подавання локомотивів ($\Delta t_{под}$);
- виконання маневрової роботи ($\Delta t_{оч}$);
- руху по перегонах та з'єднувальних коліях ($\Delta t_{рух}$).

Інформаційний потік в логістичній системі випереджає вантажопотік на певний час Δt_b .

Тема 3. Розробка моделей та інтелектуальних систем управління на залізничному транспорті металургійних підприємств

3.1 Інтелектуалізація систем управління на ЗТПМ

Інтелектуалізація систем управління стає сьогодні одним з головних напрямків інноваційного розвитку залізничного транспорту. Інтелектуальні системи розкривають додатковий потенціал підвищення ефективності виконання транспортно-технологічних процесів. Впровадження елементів інтелектуалізації в системах керування забезпечує прискорення виконання виробничих процесів, забезпечує економію ресурсів. На роботу промислових станцій впливає значна кількість факторів, що відносить управління роботою станцій до складного завдання, рішення якого за допомогою існуючих автоматизованих систем управління промисловим транспортом не дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси транспортної системи.

Інтелектуальні системи управління на базі імітаційних моделей мікрологістичних систем ЗТПМ дозволяють знаходити максимально ефективні рішення щодо розподілу наявних ресурсів та використання транспортної інфраструктури підприємства. Такі рішення можуть вироблятися як при оперативному, так і при середньостроковому та довгостроковому плануванні (в умовах планової зміни кількості та/або характеристик наявних ресурсів, розвитку інфраструктури транспорту тощо).

У структурному вигляді інтелектуальна система управління на базі імітаційної моделі мікрологістичної системи ЗТПМ представлена на рисунку 3.1 (порядковими номерами позначена черговість технологічних операцій з вироблення управлінських рішень).

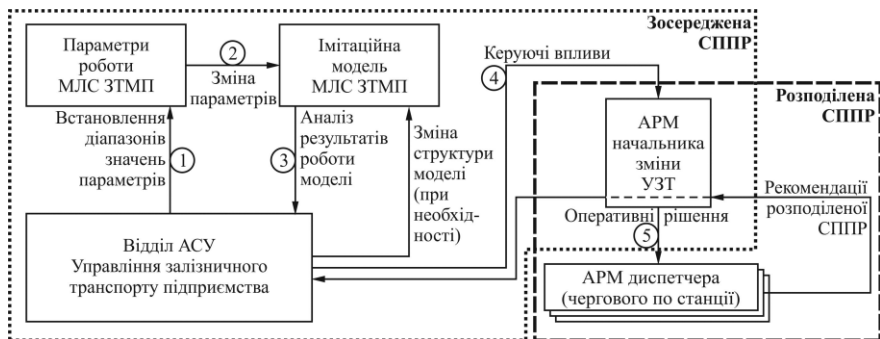


Рисунок 3.1 – Інтелектуальна система управління МЛС ЗТПП

Представлена інтелектуальна система управління МЛС ЗТПП працює наступним чином.

За допомогою традиційних методів визначаються розрахункові (оптимальні) параметри (або діапазони значень) функціонування окремих елементів та підсистем МЛС ЗТПП.

Внаслідок властивості неадитивності МЛС ЗТПП, локальна оптимізація підсистем ще не означає глобальну оптимізацію всієї системи в цілому. Для пошуку найбільш ефективних рішень виконуються прогони імітаційної моделі МЛС ЗТПП при зміні параметрів її роботи в заданих діапазонах та розраховується цільова функція.

Серед найбільш ефективних за показниками роботи моделі груп параметрів групою експертів Управління залізничного транспорту обирається одна з них (це дає можливість врахувати фактори, які не можливо врахувати в моделі).

Наприклад, в результаті моделювання отримані декілька ефективних рішень, одне з яких передбачає розширення району роботи певного локомотива, що потребує витрат часу та коштів для підготовки робітників до роботи в нових умовах. Інше рішення, яке з урахуванням погрішності роботи моделі, може мати таку ж ефективність, не потребує таких витрат, тому може бути обране експертами для реалізації в реальних умовах.

Оскільки імітаційна модель відіграє ключову роль в структурі інтелектуальної системи управління МЛС ЗТПП, необхідно розробити універсальний підхід до побудови моделей підсистем МЛС ЗТПП.

3.2 Імітаційне моделювання вхідних вагонопотоків МЛС ЗТПП

Інструменти імітаційного моделювання передбачають представлення потоків заявок шляхом задавання їх інтенсивності, або періодичності появи.

Існують типові моделі поїздів (составів) та об'єкти для їх обробки. За їх допомогою можна утворити стандартні схеми вагонопотоків, де спочатку утворюється поїзд у вигляді комплекту заявок-вагонів, які передаються між елементами моделі за порядком їх розташування у ланцюгу подій.

Але вагонопотоки в умовах промислових підприємств мають деякі особливості та відмінності від стандартних уявлень дослідників, що потребує більш детального аналізу при побудові їх імітаційних моделей.

Структура імітаційної моделі, по-перше, залежить від статистичних даних, які характеризують досліджуваний вагонопотік.

У дослідника можуть бути різні типи комплектів статистичних даних.

Спочатку розглянемо маршрутні состави. Під маршрутним составом, який надходить на адресу промислового підприємства, розуміється состав вагонів з однорідними вантажами, можливо різного фракційного составу або з відхиленнями по вмісту різних складових компонентів та ін., який передається станцією примикання без суттєвої переробки (можливі відчеплення окремих вагонів з технічними або комерційними несправностями).

Для описання процесу передавання маршрутних составів можна виділити три типи спостережень за часом, та три типи спостережень за обсягами перевезень.

Часові спостереження:

- перший тип – спостереження інтервалів часу між відправленням маршрутних составів від пунктів постачання та інтервалів часу руху поїздів від станції відправлення до станції примикання промислового підприємства;

- другий тип – спостереження інтервалів часу між прибуттям маршрутних составів на станцію примикання на адресу промислового підприємства;

- третій тип – спостереження інтервалів часу між передачею маршрутних составів зі станції примикання на адресу промислового підприємства;

Спостереження обсягів перевезень:

- перший тип – спостереження щодо кількості вагонів у составах маршрутних поїздів, які відправлялись від пунктів постачання та спостереження щодо кількості відчеплених вагонів на шляху прямування та на станції примикання;

- другий тип – спостереження щодо кількості вагонів у составі маршрутного поїзда, який передається на адресу підприємства;

- третій тип – спостереження щодо ваги вантажу у вагонах.

У дослідника також повинні бути наявні нормативні дані щодо розрахункового інтервалу передачі маршрутних составів зі станції примикання на під'їзну колію; максимально припустимої кількості вагонів у составі, що передається, за його довжиною та масою; кількості колій приймання маршрутних составів та їх корисної довжини; нормативні дані часу на розвантаження маршрутів (мається на увазі час звільнення приймальних колій).

Якщо на підприємстві використовується система черговості вивантаження вагонів з різних маршрутів на одному вантажному пункті, це також потрібно врахувати при побудові моделі. Крім того, в холодний період року необхідно враховувати збільшення часу вивантаження маршрутів внаслідок змерзання вантажів.

Можна використовувати також статистичні дані розвантаження маршрутних составів.

Якщо на підприємство надходять порожні вагони одним составом для навантаження маршруту, для нього також потрібні дані, які відповідають вищенаведеним вимогам.

На рисунку 3.2 представлена типова (уніфікована) елементарна дискретно-подійна імітаційна модель розгорнутого типу, яка імітує надходження маршрутних составів на під'їзну колію промислового підприємства за статистичними даними часових спостережень першого типу.

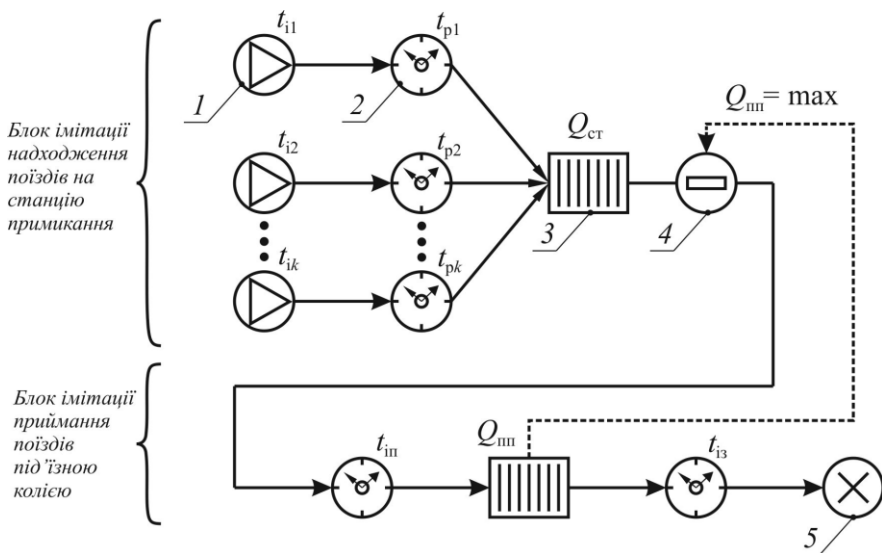


Рисунок 3.2 – Типова елементарна дискретно-подійна імітаційна модель надходження маршрутних составів розгорнутого типу

Модель складена з наступних стандартизованих елементів: 1 – генератор замовлень; 2 – пристрій обслуговування; 3 – черга обслуговування; 4 – блокувальник замовлень; 5 – знищувач замовлень.

Для роботи моделі необхідно задати входні параметри:

- розподіл інтервалів відправлення маршрутів постачальниками t_i ;

- розподіл інтервалів часу руху поїздів від станції відправлення до станції примикання промислового підприємства t_p ;

- місткість приймальних колій станції примикання $Q_{ст}$. Можна приймати максимальну місткість, передбачену програмним засобом, щоб при роботі програми не було збоїв. Перебільшення максимальної можливої місткості цього пристрою дослідник може встановити при аналізі результатів роботи моделі;

- розрахунковий інтервал t_{in} передачі маршрутних составів зі станції примикання на під'їзну колію;

- місткість приймальних колій під'їзної колії $Q_{пн}$. У разі досягнення в процесі моделювання цієї кількості замовлень (маршрутних составів) в даній черзі обслуговування, рух наступних

замовлень до неї буде блокуватись пристроєм 4. Тобто маршрутні состави будуть затримуватись на коліях станції примикання;
 - нормативний час на звільнення приймальних колій підприємства $t_{із}$.

На рис. 3.3 наведена типова елементарна дискретно-подійна імітаційна модель надходження маршрутних составів згорнутого типу. Вона складена з таких самих структурних елементів, що і попередня модель.

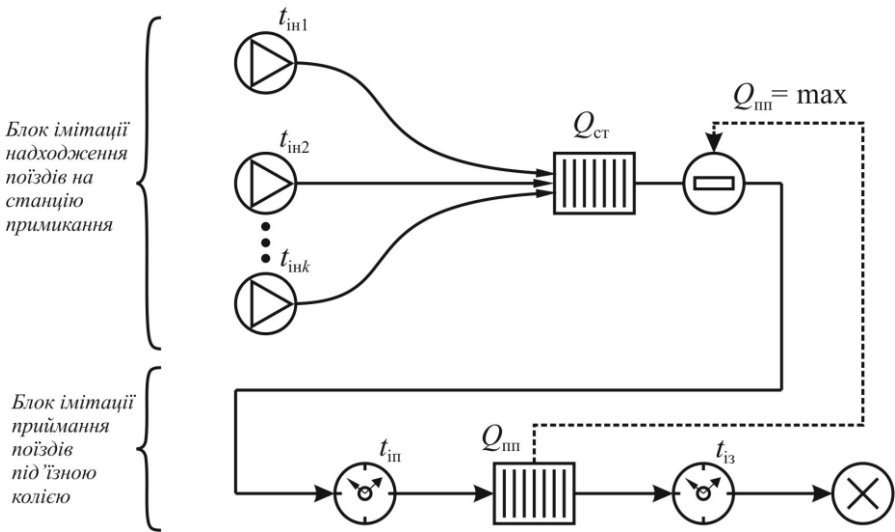


Рисунок 3.3 – Типова елементарна дискретно-подійна імітаційна модель надходження маршрутних составів згорнутого типу

Відмінність структури, зображеної на рис. 3.3 від зображеної на рис. 3.2 полягає у пристосованості для часових даних другого типу.

Відповідно вхідні параметри t_i та t_p замінені параметром моделювання інтервалів часу $t_{ін}$ між надходженням маршрутних составів на станцію примикання на адресу промислового підприємства.

Визначення часових параметрів моделей, які наведено на рис. 3.2 та рис. 3.3 здійснюється за допомогою методів статистичного аналізу.

В деяких випадках доцільно використовувати спрощену типову елементарну дискретно-подійну імітаційну модель надходження маршрутних составів (рис. 3.4).

Блок імітації надходження поїздів на станцію примикання

Блок імітації приймання поїздів під їзною колією

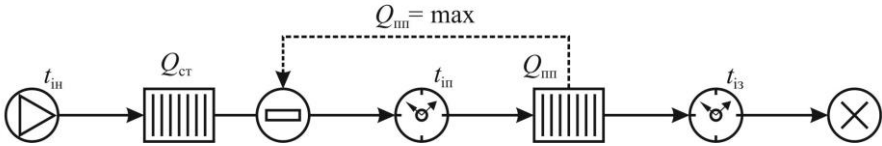


Рисунок 3.4 – Спрощена типова елементарна дискретно-подійна імітаційна модель надходження маршрутних составів

Ця модель пристосована до використання узагальнених статистичних даних другого типу. Якщо обробляються дані щодо інтервалів між надходженням маршрутів від усіх постачальників, в імітаційній моделі генеруються дані за допомогою одного генератора замовлень.

Схожу структуру може мати модель імітації формування збірних поїздів на станції примикання для передавання на під'їзну колію (рис. 3.5).

Блок імітації формування збірних поїздів на станції примикання

Блок імітації приймання поїздів під їзною колією

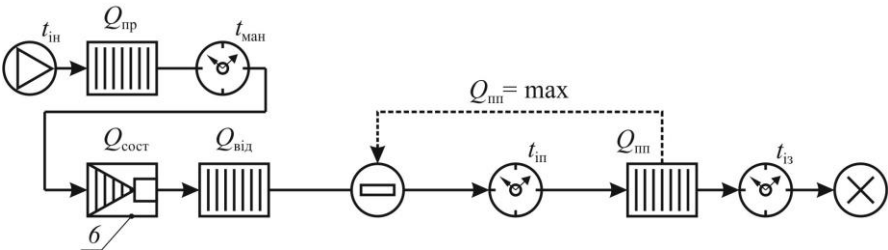


Рисунок 3.5 – Типова модель імітації формування збірних поїздів на станції примикання для передавання на під'їзну колію

Джерело замовлень імітує процес надходження замовлень через певні інтервали у кількості, яка також має імовірнісний характер.

Замовлення-вагони наповнюють колії приймання місткістю $Q_{пр}$, з яких вони передаються через інтервали часу $t_{ман}$, який витрачається на маневрові та ін. роботи, до об'єкту 6 – об'єднувача замовлень. Вагони групуються у поїзд довжиною $Q_{сост}$, які потрапляють до черги – парку відправлення місткістю $Q_{від}$, та рухаються далі за аналогією з рис. 3.4.

Модель, зображена рис. 3.5 може інтегруватись з будь-якою структурою рис. 3.2, 3.3, 3.4.

На рис.3.6 зображена модель імітації надходження поїздів на промислове підприємство, яка враховує відчеплення вагонів від маршрутних составів в процесі прямування та на станції примикання (технічні та комерційні несправності).

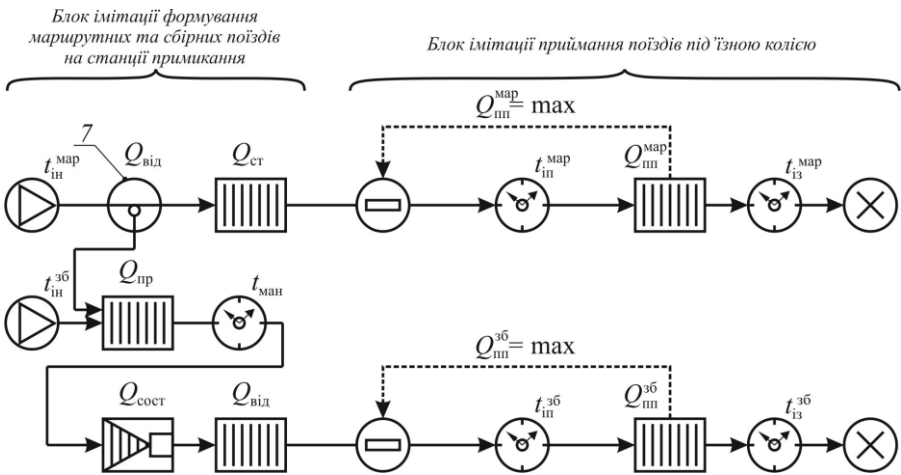


Рисунок 3.6 – Інтегрована типова дискретно-подійна модель надходження поїздів зі станції примикання на промислове підприємство

Такі вагони у подальшому, зазвичай передаються у збірних поїздах. Парки приймання маршрутних та збірних поїздів можуть бути об'єднані, або відокремлені.

В моделі рис. 3.6, на відміну від попередніх, застосовано додатковий елемент 7, який копіює, тобто утворює нові замовлення-

вагони у визначеній кількості, які передаються до складу збірних поїздів, а заявка-оригінал (маршрутний состав) рухається далі за встановленим транспортно-технологічним ланцюгом. Індексми «мар» та «зб» позначені, відповідно, параметри маршрутних та збірних поїздів.

За необхідністю, блок імітації приймання поїздів може бути розвинений, мати структуроване дерево технологічних ланцюгів та використовувати більш широкий набір функціональних елементів.

Для перевірки адекватності моделі, вона може бути проаналізована за допомогою передбачених програмним засобом, який використовується для її утворення, елементів статистичного аналізу. Наприклад, в сучасних системах імітаційного моделювання є широкий набір інструментів побудови діаграм, графіків та ін.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

Оптимізація параметрів функціонування МЛС ЗТПП

Тема 4. Моделювання роботи МЛС доставки вантажів на ЗТПП

Концептуальна структура сучасної моделі транспортної системи ЗТПП мало чим відрізняється від розробок, виконаних в другій половині минулого століття. Запропонований ще в 1981 році алгоритм моделювання роботи транспортної системи доставки сирих матеріалів (прообраз сучасної МЛС ЗТПП) складається з наступних блоків:

- підготовки вихідних даних;
- формування вхідного потоку;
- приймання поїздів;
- приймально-здавальних операцій та операцій з прибуття;
- зважування та подавання вагонів до гаражів розморожування або фронтів вивантаження;
- імітації розморожування (в холодний період року);
- імітації вивантаження;
- прибирання вагонів з вантажних фронтів, формування та відправлення составів.

Сучасна модель, як і її прообраз, повинна включати модуль імітації розморожування, який використовується при моделюванні роботи в холодний період року. У цьому випадку технологічний процес доставки та вантажопереробки доповнюється операцією по відновленню сипкості вантажів. Для цього існують різні пристрої, кожен з них потребує затримки руху вагонів на певний проміжок часу. Деякі пристрої можуть розміщуватись безпосередньо перед пунктом вивантаження вагонів та призначені для певного вантажу, деякі розміщуються відокремлено та обслуговують різні вантажопотоки.

У першому випадку організація обробки вантажопотоку може не вимагати додаткових транспортних ресурсів у вигляді тягового рухомого складу. При обслуговуванні окремих крупних пунктів відновлення сипкості вантажів, наприклад, гаражів розморожування вагонів, визначення потреби у тягових ресурсах ускладнюється.

Кількість локомотивів на станціях, які обслуговують пристрої розігрівання вантажів, залежить від багатьох факторів та оптимізація роботи цієї системи є складною науковою задачею.

Метод моделювання складних систем може бути оснований на принципі самоорганізації моделей на комп'ютері. Суть цього методу полягає в систематичному переборі можливих структур моделі та відбір їх за певними критеріями. Головним етапом в цій методології є правильний вибір цілей для моделей та критеріїв оптимізації.

В дослідженнях показаний перехід від концептуальних моделей систем до формальних, приводиться методологія статичного моделювання систем, обговорюються проблеми інтерпретації отриманих за допомогою комп'ютерної моделі результатів. Існують інші підходи до побудови імітаційних моделей для рішення складних задач аналізу, оптимізації і проектування систем управління промисловістю і технологічними процесами. Перспективним є напрямок розробки типових імітаційних моделей, які можуть бути використані при оптимізації транспортних процесів та можуть бути реалізовані на сучасних програмних засобах.

Пропонується розробка та використання типових імітаційних моделей транспортних систем, за допомогою яких здійснюється оптимізація транспортно-технологічних процесів при змерзанні вантажів.

Виконаємо дослідження транспортно-технологічних процесів на прикладі металургійного підприємства ПАТ «Запоріжсталь». Це підприємство з повним металургійним циклом виробництва сталі, яке має агломераційний, доменний та мартенівський цехи, де переробляються значні обсяги сировини.

На рисунку 4.1 наведено діаграму обсягів надходження вантажів, які змерзаються.

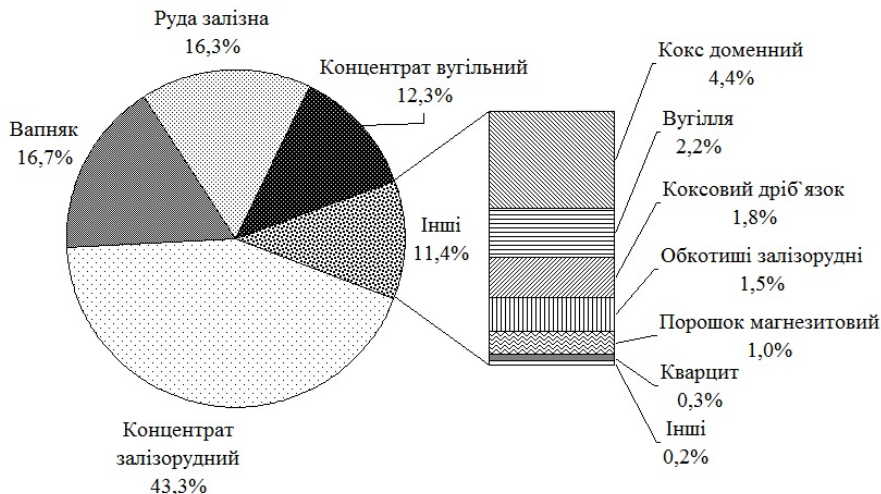


Рисунок 4.1 – Структура обсягів надходження вантажів, які змерзаються

Основний обсяг складають вантажі, які є сировиною для доменного виробництва (концентрат залізородний, вапняк, руда залізна, обкотиші залізородні). Інші частини складає паливо (кокс, вугільний концентрат, вугілля, коксовий дріб'язок) та компоненти для мартенівського виробництва сталі. Понад 74% вантажів для розігрівання надходять у складі маршрутних составів, решта – у складі збірних поїздів.

На металургійних підприємствах вивантаження розігрітих вантажів здійснюється на декількох крупних пунктах. Основний вагонопотік спрямований до вантажних фронтів доменного цеху, бо цехів, які здійснюють його обслуговування (підрозділ підготовки виробництва, агломераційний цех).

Аналіз розподілу розігрітих вантажів по пунктах вивантаження металургійного підприємства наведено на рисунку 4.2.

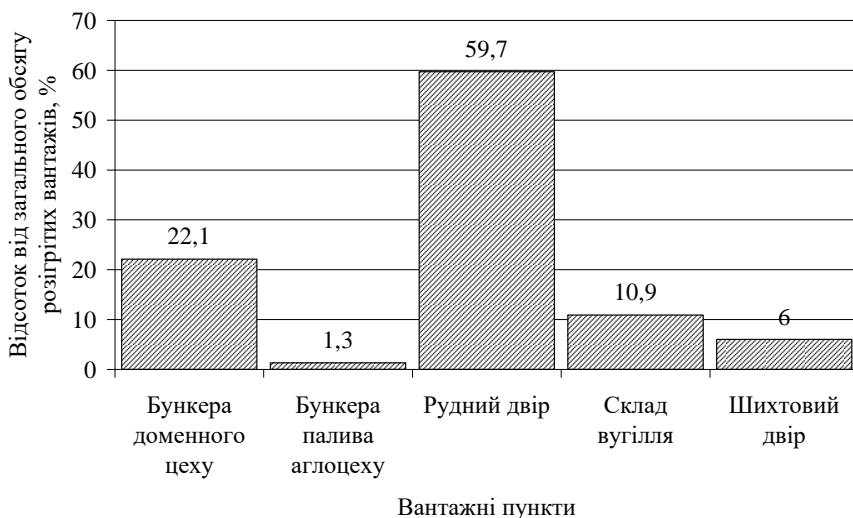


Рисунок 4.2 – Розподіл розігрітих вантажів по пунктах вивантаження

При розробці типової імітаційної моделі доставки вантажів в умовах їх розморожування необхідно врахувати наступні особливості транспортної системи:

- вагони зі змерзлими вантажами надходять у складі маршрутних та збірних составів (разом з вагонами, які не потребують відновлення сипкості вантажів);

- у пристрій розморожування вагони подаються партіями, переважно у кількості, яка відповідає місткості відповідної камери розігрівання;

- після розігрівання вагони подаються до пункту вивантаження, якщо він вільний.

Розглянемо типову базову структуру імітаційної моделі доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження (рисунок 4.3).

Модель складена з наступних стандартних елементів: 1 – генератор замовлень; 2 – черга обслуговування; 3 – пристрій обслуговування; 4 – пристрій розподілу; 5 – блокатор замовлень; 6 – знищувач замовлень.

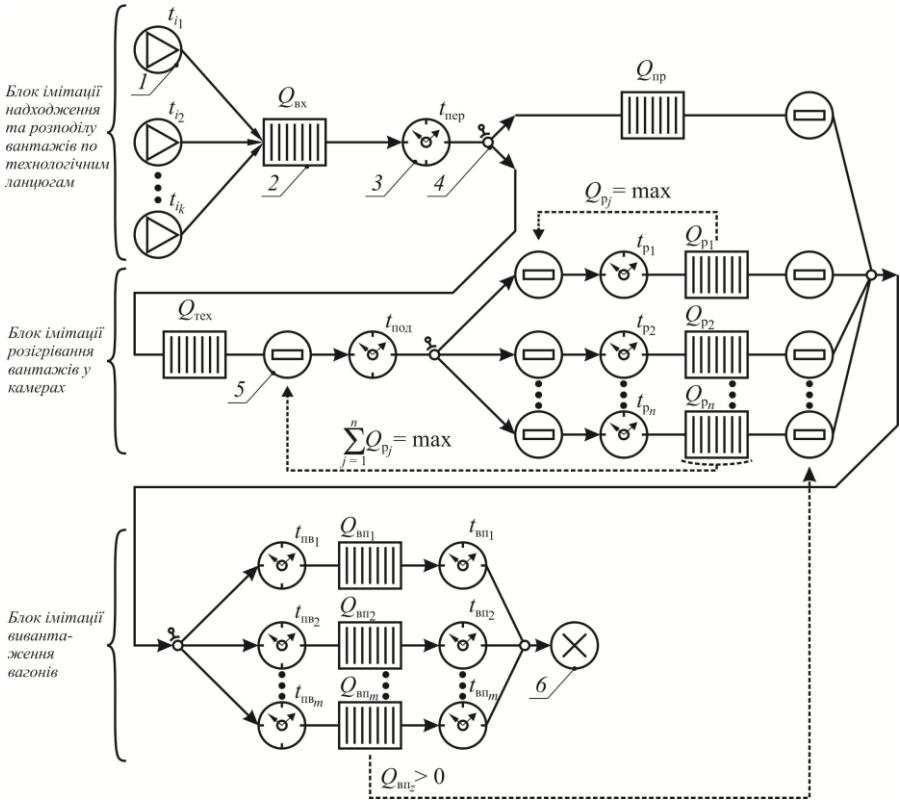


Рисунок 4.3 – Базова типова імітаційна модель доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження

Замовлення-вагони надходять групами (составами) до черги – колії приймання вагонів вхідної промислової станції місткістю Q_{vx} .

Імітація розформування составів здійснюється за допомогою елемента затримки замовлень на певний проміжок часу $t_{пер}$.

Після цієї операції вагони сортуються по двох чергах:

- черга місткістю $Q_{пр}$ для накопичення вагонів на станційних коліях підприємства з вантажами, які не потребують розігрівання;
- черга місткістю $Q_{тех}$ для накопичення вагонів з вантажами, які потребують розігрівання.

З останньої, з урахуванням часу виконання маневрових робіт $t_{под}$

із постановлення вагонів до камер місткістю Q_{pj} , вагони потрапляють до вільних елементів, які імітують їх розігрів шляхом затримки на час t_{pi} . Подавання наступних партій заявок блокується до моменту звільнення камер розморожування, тобто у разі виконання умови:

$$Q_{pj} = \max, \quad j = 1 \dots n, \quad (4.1)$$

де Q_{pj} – місткість j -ї камери розігрівання у вагонах;
 n – загальна кількість камер.

Після відновлення сипкості вантажу, вагони потрапляють до відповідних елементам затримки черг пунктів вивантаження. При цьому елементами блокування не допускається подавання чергових партій замовлень-вагонів у камери розігріву до тих пір, поки не звільниться відповідний елемент затримки та не з'явиться місце у черзі, яку він обслуговує.

Вихід з черг камер пристрою розморожування також блокується у разі відсутності вільних місць у чергах вантажних пунктів (тобто при наявності попередньо поданих вагонів на фронті вивантаження).

Дана умова потрібна для недопущення повторного змерзання розігрітого вантажу внаслідок очікування вивантаження поза камерами.

Знаходження в пристрої розігрівання продовжується при виконанні умови:

$$Q_{вп_z} > 0, \quad z = 1 \dots m, \quad (4.2)$$

де $Q_{вп_z}$ – кількість вагонів, які знаходяться на z -му вантажному фронті;

m – кількість вантажних фронтів.

Більший рівень адекватності може бути досягнуто у разі використання замість виразу (4.2) наступної умови подавання вагонів до вантажного пункту:

$$t_{зр_j} + t_{пв_z} \geq t_{зв_z}, \quad (4.3)$$

де $t_{зр_j}$ – момент часу закінчення розігрівання вантажу у j -й

камері;

$t_{пвz}$ – час подавання вагонів з камер розігріву до відповідного z -го вантажного фронту;

$t_{звz}$ – момент часу закінчення вивантаження вагонів на z -му вантажному фронті.

Паралельно здійснюється передавання замовлень з черги, в якій накопичуються вантажі, що не потребують розморожування.

Завершує структуру програми елемент знищення замовлень.

Дана модель може бути реалізована у середовищі сучасних програмних засобів імітаційного моделювання. Адекватність даної моделі реальному процесу може бути підвищена шляхом використання ресурсів, адже час переміщення вагонів залежить від кількості локомотивів.

Розглянемо фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні одного локомотива (рисунок 4.4).

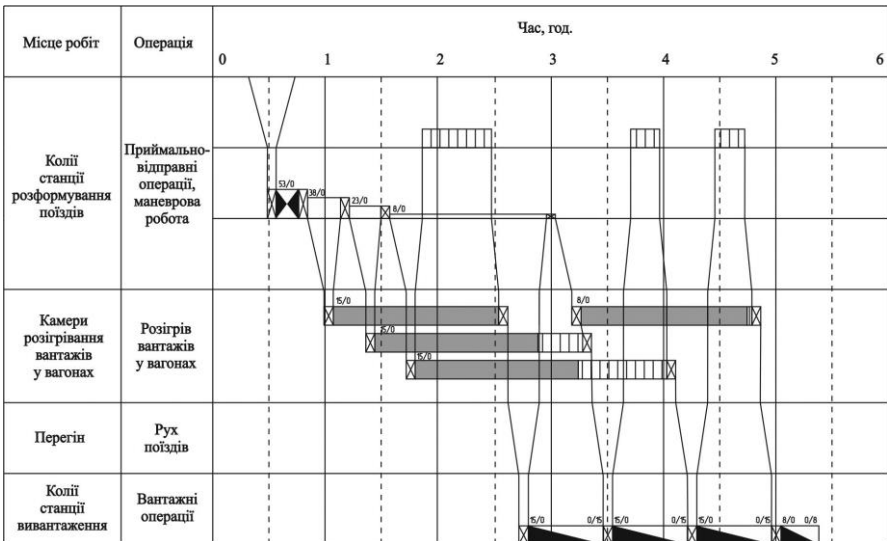


Рисунок 4.4 – Фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні одного локомотива

Робота маневрового локомотива починається після прибуття та обробки маршрутного поїзду на приймальних коліях. У даному

прикладі використовуються три камери розігрівання вантажів, в які послідовно подаються партії по 15 вагонів. Після розігрівання вони подаються на фронт вивантаження. При заданій тривалості транспортних, вантажних та інших технологічних операцій один локомотив може забезпечити безперервну роботу пункту вивантаження.

Але при цьому, як можна бачити на графіку (рисунок 4.4), у першій камері наявний інтервал між прибиранням та подаванням вагонів, у другій та третій камерах також значні інтервали між готовністю та прибиранням вагонів.

При ситуації, коли вагонопотік до камер розігріву значний, потрібне більш раціональне використання пристрою розморожування, що забезпечується щільним графіком роботи, де мінімізується непродуктивний простій камер.

Розглянемо фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні двох локомотивів (рисунок 4.5).

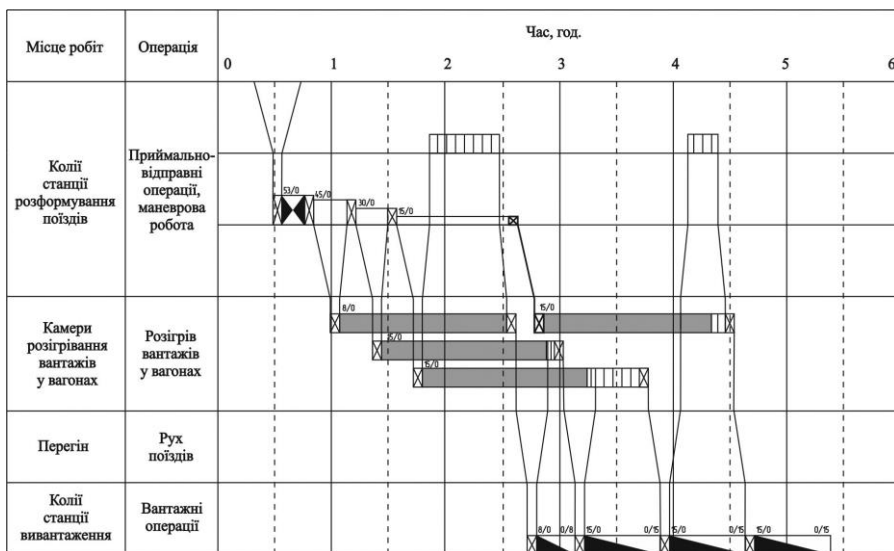


Рисунок 4.5 – Фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні двох локомотивів

З аналізу процесу розігрівання вантажів, бачимо, що час простою у кожній камері скорочено на 10 хвилин або на 67%. При низьких температурах навколишнього середовища, у разі інтенсивного використання пристрою розігріву, це дуже важлива економія. Але для реалізації потрібен додатковий локомотив (його роботу на графіку рис. 4.5 показано стовщеною лінією). На практиці, на металургійних підприємствах, в холодний період року для обслуговування пристрою розморожування додатково використовують один або два локомотиви. Не зважаючи на підвищення витрат на їх експлуатацію, цей крок необхідний з позицій максимально ефективного використання камер розморожування, мінімізуючи непродуктивний простій.

Для визначення оптимальної кількості локомотивів, базова типова структура імітаційної моделі розморожування вантажів (рисунок 4.3) може бути представлена у наступному вигляді (рисунок 4.6). Структура доповнена ресурсом – певною кількістю локомотивів, які захоплюються замовленнями (партіями вагонів) при передачі між елементами обслуговування та чергами.

Після прогонки моделі при різній кількості локомотивів для певних температурних умов та обсягів надходження вантажів можна визначити тривалість простою вагонів, продуктивність пристрою розморожування та максимальну довжину черги (кількості вагонів на під'їзній колії).

Більший рівень адекватності моделі може бути досягнуто врахуванням обмежень, які задаються схемою колійного розвитку станції, яка обслуговує пристрій розморожування, наприклад, шляхом побудови схеми транспортної мережі. Така модель буде більш складною, потребує значних витрат часу на налагодження та може бути використана лише для певного підприємства, на відміну від моделей, наведених на рисунках 4.3 та 4.6, які є типовими.

Оптимізація транспортно-технологічних процесів може бути виконана за критерієм мінімізації загальних витрат шляхом збалансованого використання транспортних, технологічних та вантажних ресурсів (вагонів, локомотивів, засобів відновлення сипкості та вантажних засобів).

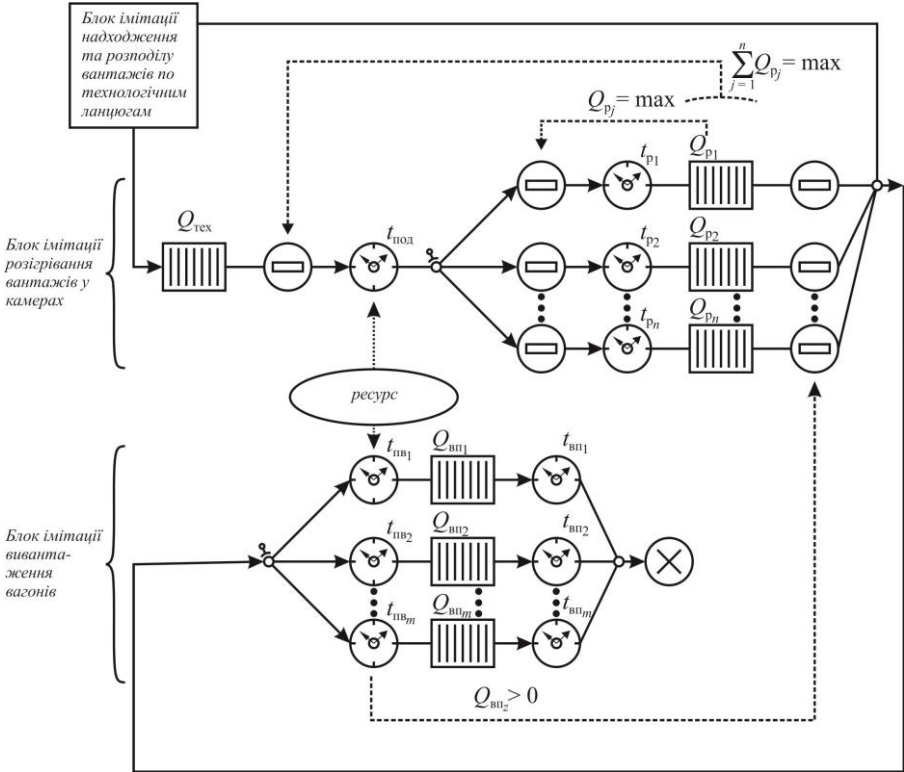


Рисунок 4.6 – Базова типова імітаційна модель доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження з ресурсами

Цей баланс може бути встановлений шляхом прогону моделей при різних параметрах роботи шляхом оцінки вихідних показників: простою вагонів, часу використання локомотивів, камер розморожування та вантажних фронтів.

Практичні рекомендації можуть бути використані як при оперативному управлінні перевезеннями, так і при довгостроковому плануванні розвитку транспортної системи (будівництво нових вантажних пунктів, камер розморожування та ін.).

Тема 5. Моделювання роботи МЛС відвантаження готової продукції ЗТПП

Процеси відвантаження готової продукції на металургійних підприємствах безпосередньо пов'язані з процесами надходження вагонів з сировиною, паливом, матеріалами та обладнанням і процесами виробництва та збуту.

Базова модель роботи МЛС доставки готової продукції з виробничих цехів до станції примикання є продовженням моделі доставки вантажів на підприємство, робота якої була описана раніше.

Представлена на рисунку 5.1 модель складена зі стандартних елементів імітаційного моделювання. Вона є основою, до якої можуть бути приєднані інші модулі.

Основним процесом в моделі є процес переміщення вагонів. Вхідні потоки порожніх вагонів (заявок) з фронтів вивантаження накопичуються на станційних коліях, де утворюють черги Q_{ni} , з яких утворюються групи заявок – состави, які, через технологічно обумовлений час $t_{пф1}$, потрапляють до станцій розподілу вагонів по фронтах навантаження (черги Q_{3j}).

Розмір черги запасу Q_{3j} обумовлює потребу в додатковій кількості порожніх вагонів, які необхідні для виконання плану навантаження продукції. У разі зменшення кількості вагонів нижче оптимального (критичного) рівня, їх кількість збільшується за рахунок подавання в систему ззовні, тобто забезпечується виконання умови:

$$\sum_{j=1}^n Q_{3j} < Q_{\min} \quad (5.1)$$

Наступним етапом вагони групуються у партії $Q_{пнj}$ за різними категоріями придатності для навантаження та потрапляють до фронтів навантаження, у разі їх вільності.

Через технологічно обумовлений час $t_{пнз}$ навантаження, вагони розподіляються по коліях накопичення составів для відправлення на зовнішню мережу.

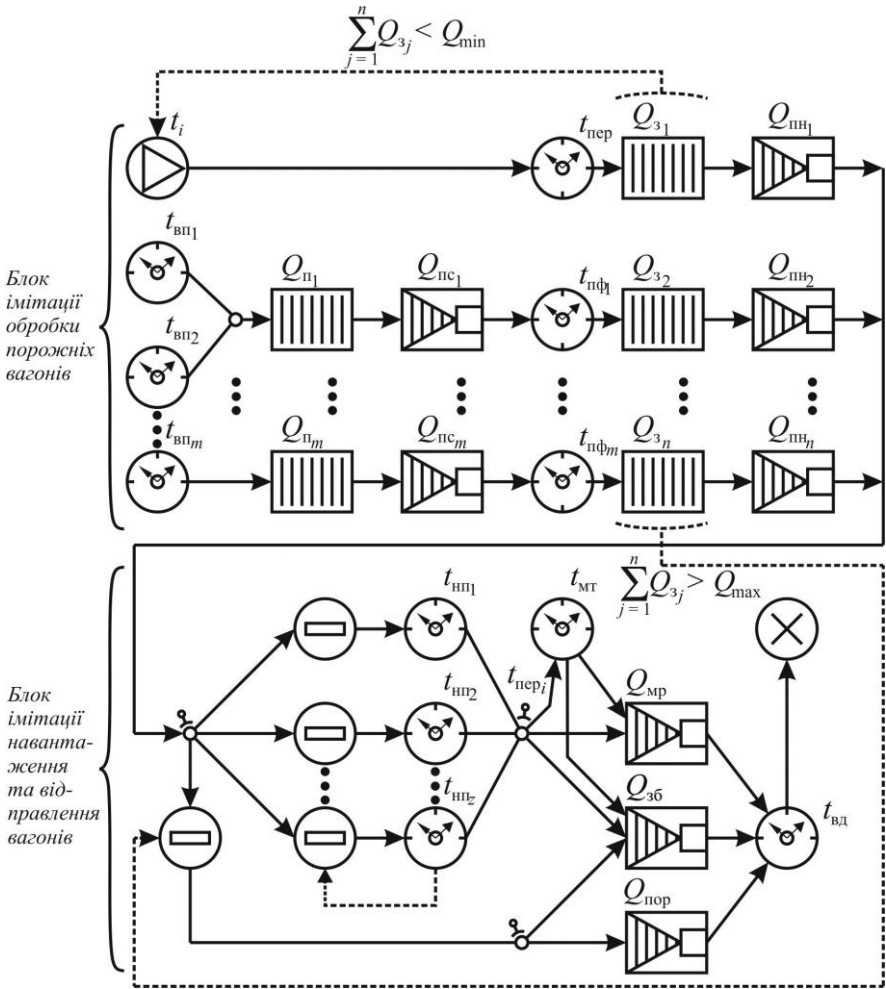


Рисунок 5.1 – Базова типова модель доставки готової продукції з виробничих цехів до станції примикання

Це можуть бути колії накопичення маршрутних составів – черга $Q_{\text{мр}}$ та збірних поїздів – $Q_{\text{зб}}$. Частина вагонів, які непридатні для навантаження готової продукції, або придатні при їх надлишковій кількості, – відправляються у порожньому стані в складах збірних поїздів або окремими порожніми составами – $Q_{\text{пор}}$.

Умова відправлення вагонів у порожньому стані:

$$\sum_{j=1}^n Q_{3j} > Q_{\max} \cdot \quad (5.2)$$

Вагони, вантажі в яких потребують митного оформлення (на відміну від потоків сировини, для металопродукції підприємств України характерним є значна доля таких вантажів), додатково затримуються на час t_{MT} , і лише після цього включаються до складу маршрутних або збірних составів.

Наступним етапом, состави вагонів через нормативний час відправлення $t_{\text{вд}}$ передаються на станцію примикання.

У разі додавання до моделі ресурсів, структурно вона буде виглядати наступним чином (рис. 5.2).

Шляхом численних прогонів моделей, структури яких представлені на рис. 5.1 та 5.2, можна встановити раціональний сумарний розмір черг Q_{3j} та кількість ресурсів (локомотивів) для певних параметрів роботи (обсягів перевезень та ін.).

Моделювання роботи МЛС відвантаження готової продукції ЗТПП при взаємодії з автомобільним транспортом. Складний економічний стан металургійної галузі України потребує пошуку шляхів зниження витрат як на етапах виробництва, так і при перевезенні сировини та готової продукції. Для перевезень використовуються різні види транспорту: залізничний, водний, автомобільний. Як відомо, на коротких відстанях перевезень автомобільний транспорт може бути більш економічним, ніж залізничний. Використання автотранспорту у цих випадках стримує лише масовий характер перевезень.

При великих обсягах перевезень рух окремих транспортних одиниць вантажних автомобілів у суміші з міським транспортом більш складно організувати, ніж рух більш ємних залізничних составів.

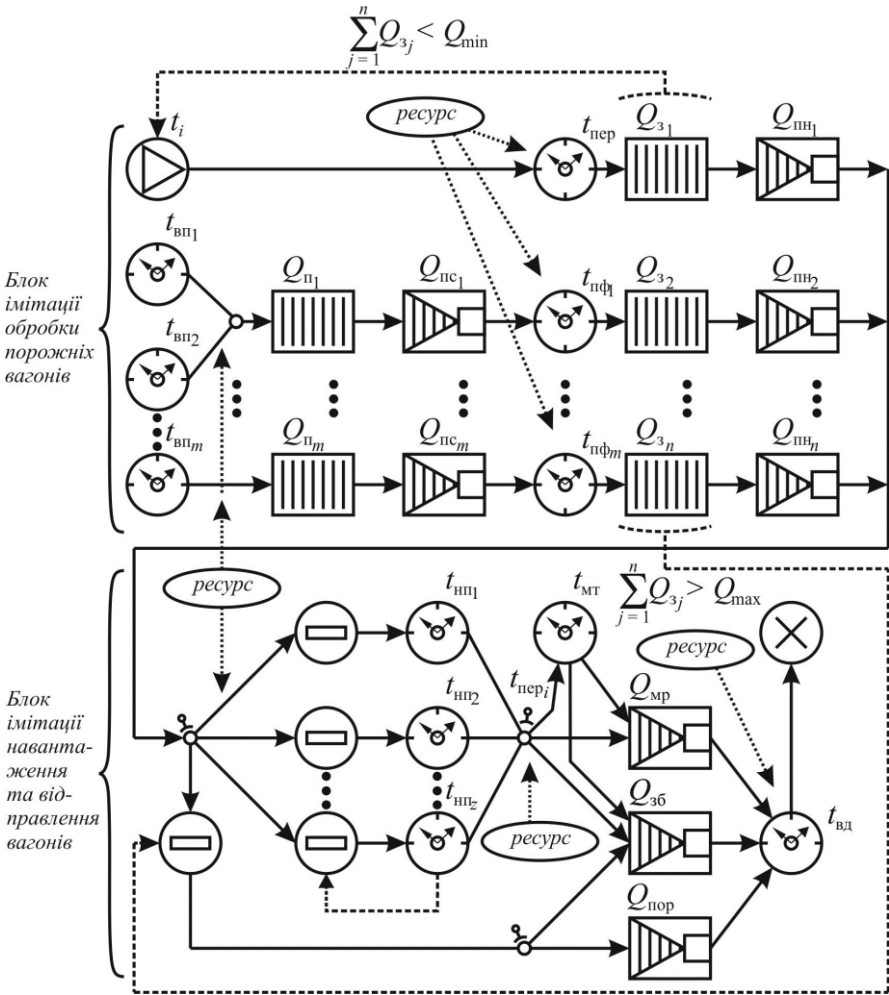


Рисунок 5.2 – Базова типова модель доставки готової продукції з виробничих цехів до станції примикання з використанням ресурсів

Задача вибору оптимального виду транспорту для перевезень продукції металургійного підприємства є складною та багатокритеріальною. На сьогоднішній день вона вирішується групою експертів на підставі аналітичних розрахунків, які не завжди точно характеризують перевізний процес. Важко врахувати стохастичні

процеси руху транспортних засобів по шляхах підприємства та міста; надходження готової продукції з виробничих підрозділів на склади для формування вантажних відправлень та ін. Для підприємства важливо за певних умов знайти межу, яка розділяє сфери оптимального використання автомобільного та залізничного транспорту.

Визначення економічної доцільності рішення щодо вибору оптимального вибору транспорту часто базується на аналітичних розрахунках з використанням методів статистичного аналізу та теорії ймовірностей. Ці методи потребують певного спрощення реальної системи, яка аналізується.

Перевага імітаційного моделювання перед іншими методами полягає у можливості врахування складного характеру взаємозв'язків транспортно-складських процесів до любого рівня деталізації. При цьому можуть бути виявлені приховані фактори, які за звичайних умов не враховуються дослідниками.

Дослідження в сфері використання систем імітаційного моделювання поширюються в зв'язку з розвитком та удосконаленням, спрощенням інтерфейсу програмних засобів, що дозволяє спеціалістам-транспортникам, які не є професійними програмістами, за їх допомогою вирішувати складні науково-практичні задачі.

Від правильного вибору структури моделі залежить точність вихідних результатів її роботи. Якщо метою моделювання є встановлення оптимальної стратегії взаємодії виробництва та транспорту, їх параметрів (площі складських приміщень, кількість транспортних засобів, термін доставки), початковим ланцюгом можна прийняти процес надходження упакованого вантажу на ділянку відвантаження.

Наступною ланкою ланцюга доставки вантажу споживачу є процес навантаження продукції на автотransпортний засіб. Цей процес в імітаційній моделі виконується за допомогою ресурсу – мостового крана.

Кран працює за умови наявності автомобіля на фронті навантаження. Тому необхідно задати умови блокування процесу навантаження при відсутності ресурсу – автотransпорту.

Характерними особливостями перевезень продукції металургійних підприємств є значні обсяги та інтенсивність, порівняно типові параметри вантажних місць та їх маса. Тому

зазвичай перевезення здійснюються залізничним транспортом. Автотранспорт використовується для доставки незначних обсягів металопродукції найближчим споживачам. Використання автотранспорту для перевезень значних обсягів характерно при близькому розташуванні від підприємства річкових (морських) портів.

При перевезеннях можуть використовуватись як спеціальні транспортні засоби (наприклад, при перевезенні довгомірних вантажів), так і універсальні. При перевезенні великовагової продукції (наприклад, листового металопрокату з вагою одного вантажного міста від 5 до 15 тонн) використовується автотранспорт вантажопідйомністю від 20 до 40 тонн та спеціальні засоби кріплення вантажу. Обладнання для кріплення вантажу може бути незнімним, маршрути для перевезень зазвичай маятникові із зворотним холостим пробігом. Ефективна робота на таких маршрутах може досягатись лише за умов швидкого обороту автомобілів.

На рисунку 5.3 представлена структурна типова дискретно-подійна імітаційна модель масових перевезень готової продукції металургійного підприємства крупним споживачам автотранспортом.

Модель складена з наступних стандартизованих елементів: 1 – генератор замовлень; 2 – черга обслуговування; 3 – блокатор замовлень; 4 – пристрій обслуговування; 5 – ресурс, який обслуговує замовлення; 6 – пристрій групування замовлень; 7 – пристрій розгрупування замовлень; 8 – знищувач замовлень.

Для роботи моделі необхідно задати наступні вхідні параметри:

- інтервал надходження вантажних місць t_i ;
- місткість ділянки відвантаження складу готової продукції $Q_{\text{вант}}$;
- тривалість навантаження одного вантажного місця в автомобіль $t_{\text{нав}}$;
- кількість вантажних місць, які розміщуються в кузові автомобіля $Q_{\text{парт}}$;
- кількість вантажопідйомних кранів $N_{\text{кр}}$;
- кількість автомобілів робочого парку $N_{\text{авт}}$;
- час руху автомобілю на маршруті перевезень $t_{\text{рух}}$;
- тривалість вивантаження одного вантажного місця з автомобіля $t_{\text{роз}}$.

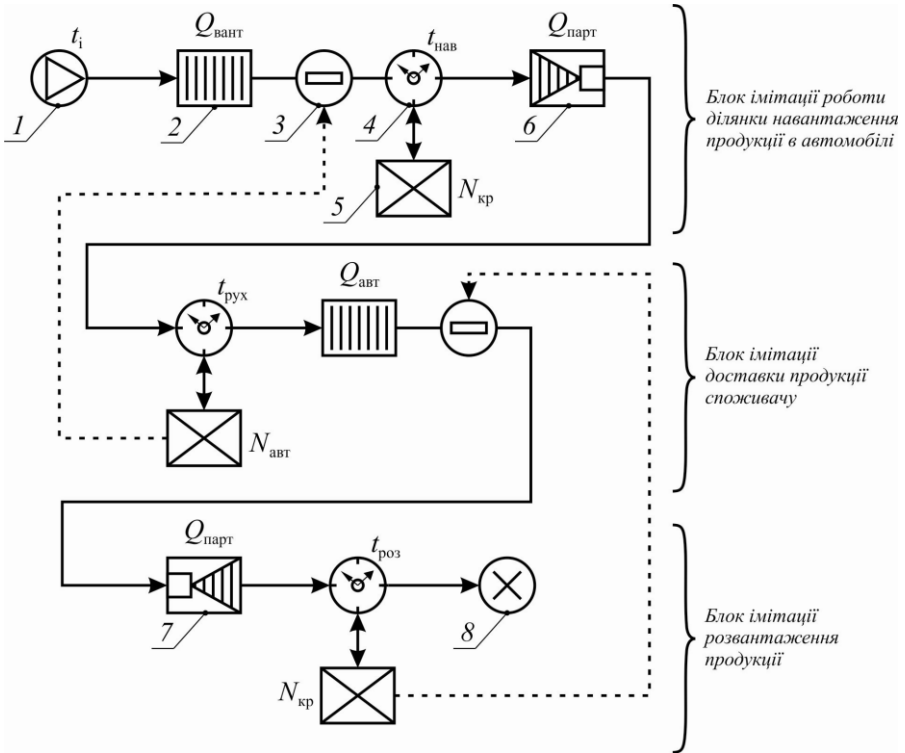


Рисунок 5.3 – Типова дискретно-подійна імітаційна модель масових перевезень готової продукції металургійного підприємства крупним споживачам автотранспортом

Моделювання інтервалів між надходженням вантажних місць (t_i) на склад можливе за попередньо визначеним законом розподілу випадкової величини.

У разі отримання значень, які менше розрахункового мінімального часу на переміщення вантажу на ділянку відвантаження, вони відкидаються. Мінімальний час може визначатись, наприклад, тривалістю циклу роботи мостового крана по захвату, переміщенню та вивільненню вантажу. Доцільно також обмежити максимальний інтервал між послідовними замовленнями фактичним найбільшим значенням статистичних досліджень.

Місткість складу ділянки відвантаження в моделі встановлюється максимальна (практично не обмежується). Оцінити її використання та фактичну потребу у складських площах простіше при аналізі результатів роботи моделі.

Кількість вантажних місць, які можуть бути завантажені в автомобіль, також може мати випадковий характер. Тому в пристрої групування моделі також можуть бути розіграні за встановленими статистичним аналізом ймовірностями різні параметри.

Блокування процесу навантаження в моделі здійснюється за умови відсутності вільних ресурсів (автомобілів). Таке ж блокування можливе при розвантаженні автомобілів.

У разі необхідності модель може бути доповнена елементом затримки для імітації процесу виконання митних операцій.

Моделювання руху автомобілів більш зручно можна шляхом використання в моделі транспортної мережі динамічних (рухомих), а не статичних (нерухомих) ресурсів (як у моделі рис. 5.3). В цьому випадку можна більш точно врахувати вплив багатьох елементів системи, які в нашому прикладі є «скритими». Це перехрестя, переїзди, міські транспортні потоки з піковими коливаннями інтенсивності руху та ін. Але й модель буде більш складною та потребує визначення багатьох додаткових параметрів.

Аналіз роботи моделі (рис. 5.3) в умовах ПАТ «Запоріжсталь» показав високий рівень адекватності. Коефіцієнт кореляції реальних даних з отриманими на моделі при проведенні експериментів становив 0,8-0,9.

Використання автомобільного транспорту замість залізничного в умовах металургійного комбінату «Запоріжсталь» для перевезення металопродукції в Запорізький річковий порт дозволило зменшити транспортні витрати та скоротити загальний час доставки вантажу кінцевим споживачам на 15 діб.

Методологія прикладного використання розроблених концепції та типових моделей наведена в наступному матеріалі.

Тема 6. Підвищення ефективності МЛС ЗТПП визначенням оптимальних параметрів функціонування

6.1 Розробка методу багатокритеріальної оптимізації на імітаційних моделях МЛС ЗТПП

Задача оптимізації роботи логістичної системи ЗТПП є багатокритеріальною. Її розв'язання складається в пошуку вектора цільових змінних, який задовольняє накладеним обмеженням та оптимізує цільову векторну функцію. Елементи векторної функції відповідають цільовим функціям, які, зазвичай, конфліктують між собою. Поняття оптимізації полягає у пошуку рішення, за якого значення цільових функцій прийнятні для постановника завдання.

Рішення задачі багатокритеріальної оптимізації може відбуватись за участю експерта або групи експертів, які вибирають й приймають рішення на основі інформації, представленою системою підтримки прийняття рішень. Такі методи оптимізації є інтерактивними.

Перспективним науковим напрямком вирішення проблеми багатокритеріальної оптимізації систем ЗТПП є використання імітаційних моделей її роботи. Сама модель не є інструментом оптимізації. Вона є інструментом визначення прогностичних показників роботи системи для певних вихідних даних та параметрах її підсистем та елементів. Більшість параметрів можуть бути оптимізовані шляхом вирішення локальних задач. Але, внаслідок властивості неадитивності складних систем, локальна оптимізація підсистем ЗТПП не означає загальну оптимізацію логістичної системи в цілому.

Тому результати, отримані при локальній оптимізації підсистем, можуть бути використані для оптимізації на імітаційній моделі всієї системи ЗТПП. Локально оптимізовані параметри можна прийняти у якості центральних, та послідовно змінюючи їх у певному діапазоні, за результатами багатократних прогонів імітаційної моделі отримати такі їх значення, які забезпечують загальну оптимізацію.

Методи оптимізації основних задач ЗТПП викладені в багатьох роботах з різних наукових напрямків досліджень, наприклад, в сфері оптимізації транспортних процесів і систем, сфері залізничного і промислового транспорту, в сфері взаємодії різних видів транспорту, логістиці та ін.

Деякі з цих методів потребують удосконалення з метою максимальної інтеграції з методом багатокритеріальної оптимізації на імітаційних моделях МЛС ЗТПП.

6.2 Типова модель управління ланцюгом постачань в МЛС ЗТПП

Транспортно-складська система доставки та вантажопереробки вантажів для виробництва є важливою складовою металургійного підприємства. Управління логістичним ланцюгом постачань здійснюється у тісній взаємодії транспортним, виробничим та постачальницьким підрозділами. Кожен з них користується власними критеріями оцінки ситуації щодо своєчасної доставки та утворення відповідного рівня страхового запасу на внутрішніх складах підприємства.

Для ефективної координації при управлінні транспортно-складськими процесами вантажопереробки та доставки вантажів необхідне створення відповідного інструментарію, який дозволив би оцінити різні управлінські рішення по можливому впливу на показники роботи усіх служб.

В умовах впливу багатьох факторів на роботу цієї системи, можливі різні варіанти організації перевізного процесу. Універсальним інструментом для розрахунків можливих ситуацій є імітаційне моделювання. Для якісного опису роботи транспортно-складської системи доставки та вантажопереробки є правильний вибір структури моделі.

Управління ланцюгами постачань в МЛС ЗТПП в загальному вигляді можна розглядати, як автоматичні системи, які існують в техніці у вигляді різних автоматичних систем управління, систем автоматичного регулювання, систем, які стежать, та ін.

У автоматичної системи вихідна величина відтворює зміну вхідної величини, причому автоматичний пристрій реагує на неузгодження між вихідною та вхідною величинами. Система, яка стежить, має зворотний зв'язок виходу зі входом, що призначений для вимірювання результату дії системи.

Структура імітаційної моделі транспортно-складської системи доставки та вантажопереробки вантажів для металургійного виробництва з погляду теорії автоматичних систем управління

концептуально може бути представлена у вигляді структури, показаної на рисунку 6.1.

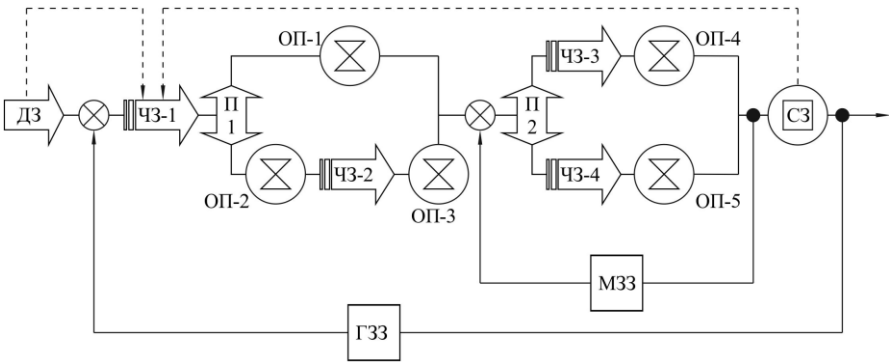


Рисунок 6.1 – Загальна структура імітаційної моделі системи доставки та вантажопереробки вантажів на ЗТПП

В даній моделі використано наступні структурні елементи:

- вхідна величина – потік вагонів з певним вантажем, які надходять від постачальника на станцію примикання, що для імітаційної моделі фактично є джерелом заявок (ДЗ);

- датчиком неузгодженості є черга заявок-вагонів (ЧЗ-1), які знаходяться на вхідній промисловій станції. Для випадку, коли черга ЧЗ-1 переповнюється, використовується черга ЧЗ-2 – склад вантажу, який може вміщувати багатократно більші запаси, ніж ЧЗ-1;

- головним елементом автоматичного регулятора є вимірювальний пристрій, або чутливий елемент, що реагує на відхилення регульованої величини – черга заявок-вагонів ЧЗ-3 на станції, яка обслуговує цех-одержувач вантажу. В холодний період року вагони направляються до черги ЧЗ-4 пристрою розморожування вантажів (за необхідністю);

- такі елементи імітаційної моделі як обслуговуючі пристрої (ОП №1-5), перемикачі напрямку руху замовлень (П) є виконавчими пристроями системи автоматичного регулювання;

- об'єктом, процеси якого підлягають регулюванню, є цех-одержувач – в імітаційній моделі це стік замовлень (СЗ).

Управління автоматичним регулятором здійснюється за допомогою місцевого зворотного зв'язку (МЗЗ), тобто на рівні керівництва станції, яка обслуговує цех-одержувач. Як правило, це регулювання дійсно наближено до автоматизму: вагони подаються по нитках контактного графіка.

Головний зворотний зв'язок (ГЗЗ) призначений для регулювання вхідного потоку вагонів відділом постачання на підставі даних виробничого відділу та відділу планування.

За критерій якості обслуговування цеха-одержувача можна прийняти мінімум витрат на доставку. В такому випадку цільова функція може бути представлена у вигляді:

$$C_z = C_{\text{пл}} + C_{\text{ман}} + C_{\text{во}} + C_{\text{вт}} + C_{\text{мп}} + C_{\text{стр}} \rightarrow \min, \quad (6.1)$$

де C_z – загальні витрати на перевезення, грн;

$C_{\text{пл}}$ – вартість плати за користування вагонами магістрального парку, грн;

$C_{\text{ман}}$ – вартість маневрової роботи з вагонами на складі, грн;

$C_{\text{во}}$ – вартість вантажних робіт на складі, грн;

$C_{\text{вт}}$ – вартість витрат, пов'язаних з втратою вантажу внаслідок перевантаження на складі, грн;

$C_{\text{мп}}$ – вартість витрат на утримання вагонів місцевого парку, грн;

$C_{\text{стр}}$ – витрати на утримання страхового запасу, грн.

Вартість плати за користування вагонами магістрального парку розраховується за формулою:

$$C_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^{n_m} f_{\text{пл}}(t_i), \quad (6.2)$$

де n_m – середня кількість вагонів магістрального парку з вантажем, од.;

$f_{\text{пл}}(t_i)$ – вартісна функція плати за користування i -м вагоном магістрального парку протягом часу t_i , грн.

Вартість маневрової роботи з вагонами на складі розраховується за формулою:

$$C_{\text{ман}} = 2 \frac{n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}}{n_{\text{п}}} t_{\text{пп}} c_{\text{л}}, \quad (6.3)$$

де $n_{\text{м}}^{\text{пп}}$ – кількість вагонів магістрального парку, які подаються за прямим варіантом, од.;

$n_{\text{п}}$ – середня кількість вагонів у составі, який передається на склад (зі складу), од.;

$t_{\text{пп}}$ – середній час роботи локомотива при подаванні та прибиранні одного составу, год.;

$c_{\text{л}}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи локомотива підприємства, грн/год. Прийнята однакова середня вантажопідйомність вагонів місцевого та магістрального парку (у протилежному випадку може виникнути необхідність корегувати коефіцієнт 2 в формулі (6.3)).

Вартість виконання вантажних робіт на складі розраховується за формулою:

$$C_{\text{во}} = 2(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) \cdot t_{\text{во}} \cdot c_{\text{во}}, \quad (6.4)$$

де $t_{\text{во}}$ – час виконання вантажних операцій з вагоном, год.;

$c_{\text{во}}$ – вартість виконання вантажних операцій з вагоном, грн/год.

Збитки від втрати вантажу внаслідок перевантаження на складі розраховується за формулою:

$$C_{\text{вт}} = \frac{(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) \cdot q_{\text{ваг}} \cdot k_{\text{вт}} \cdot c_{\text{вант}}}{100}, \quad (6.5)$$

де $q_{\text{ваг}}$ – середня кількість вантажу у вагоні, т;

$k_{\text{вт}}$ – коефіцієнт природної втрати при перевантаженні, %;

$c_{\text{вант}}$ – вартість однієї тони вантажу, грн/т.

Вартість утримання вагонів місцевого парку розраховуються за формулою:

$$C_{\text{мп}} = \frac{t_{\text{об}}(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}})}{T_{\text{р}}^{\text{мп}}} \cdot c_{\text{мп}}, \quad (6.6)$$

де $t_{\text{об}}$ – середній час обороту одного вагона місцевого парку при перевезенні вантажу зі складу до цеха-споживача, год.;

$c_{\text{мп}}$ – вартість утримання одного вагона місцевого парку, грн/добу;

$T_{\text{р}}^{\text{мп}}$ – добовий фонд часу роботи вагонів місцевого парку, год.

Витрати на утримання страхового запасу розраховуються за формулою:

$$C_{\text{стр}} = (n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) q_{\text{ваг}} (c_{\text{вант}} k_{\text{о}} + c_{\text{зб}}), \quad (6.7)$$

де $k_{\text{о}}$ – коефіцієнт витрат, які обумовлені змертвінням оборотних коштів;

$c_{\text{зб}}$ – витрати на зберігання однієї тони вантажу, грн/т.

Після підстановки усіх складових (6.2) - (6.7) до функції (6.1) отримаємо:

$$C_3 = \sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} f_{\text{пл}}(t_i) + 2 \frac{n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}}{n_{\text{п}}} t_{\text{пп}} c_{\text{л}} + 2(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) t_{\text{во}} c_{\text{во}} + \\ + \frac{(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) q_{\text{ваг}} k_{\text{вт}} c_{\text{вант}}}{100} + \frac{t_{\text{об}}(n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}})}{T_{\text{р}}^{\text{мп}}} \cdot c_{\text{мп}} + \\ + (n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) q_{\text{ваг}} (c_{\text{вант}} k_{\text{о}} + c_{\text{зб}}). \quad (6.8)$$

Після спрощення (6.8) отримуємо цільову функцію:

$$C_3 = \sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} f_{\text{пл}}(t_i) + (n_{\text{м}} - n_{\text{м}}^{\text{пп}}) \times \\ \times \left(2 \left(\frac{t_{\text{пп}} c_{\text{л}}}{n_{\text{п}}} + t_{\text{во}} c_{\text{во}} \right) + \frac{t_{\text{об}} c_{\text{мп}}}{T_{\text{р}}^{\text{мп}}} + q_{\text{ваг}} (c_{\text{зб}} + c_{\text{вант}} (k_{\text{о}} + 0,01 k_{\text{вт}})) \right) \rightarrow \min \quad (6.9)$$

при обмеженнях:

$$\begin{cases} n_M \geq n_M^{\text{pp}} > 0; \\ t_i, t_{\text{пп}}, t_{\text{во}}, t_{\text{об}}, n_{\text{п}} > 0; \\ c_{\text{л}}, c_{\text{во}}, c_{\text{мп}}, c_{\text{зб}}, c_{\text{вант}}, T_{\text{р}}^{\text{мп}}, q_{\text{вант}}, k_{\text{о}}, k_{\text{вт}} = \text{const}. \end{cases}$$

Згідно (6.9) значення виразу $(n_M - n_M^{\text{pp}})$ визначає розмір витрат, пов'язаних з доставкою вантажу для виробництва, та є розміром черги ЧЗ-1 в типовій моделі управління ланцюгом постачань в МЛС ЗТПП.

Оскільки функція розрахунку плати за користування вагонами $f_{\text{пл}}(t_i)$ є нелінійною, оптимізація (6.9) може бути виконана класичним методом динамічного програмування.

Тема 7. Встановлення параметрів МЛС перевезень рідкого чавуну та шлаку

Технологічний процес перевезення рідкого чавуну та шлаку залізничним транспортом типовий на багатьох металургійних підприємствах (грануляція при домні не розглядається). Процес перевезення шлаку на комбінатах «Запоріжсталь» та Маріупольському металургійному комбінаті більш складний, ніж чавуну. За існуючою технологією шлак від доменних печей в ковшах доставляється до басейну грануляції, де зливається частина шлаку. Потім залишки зливаються та вибиваються з ковшів на гаряче звалище і состави знов повертаються до наливу.

Складання концептуальної моделі роботи МЛС перевезень починається з відображення матеріальних потоків рідкого чавуну та шлаку з печей. На рисунку 7.1 показана загальна концептуальна модель управління процесами випуску чавуну та шлаку доменними печами.

Ця модель враховує вплив інших підсистем та зовнішніх факторів в системі ЗТПП та може бути використана також для опису системи транспортного обслуговування сталеливарного виробництва.

Імітаційна модель може бути складена зі стандартизованих елементів, які виконують певні операції по обслуговуванню замовлень в системі.

Логіку побудови структури моделі перевезень рідкого шлаку зручно виконати на прикладі перевезень рідкого чавуну.

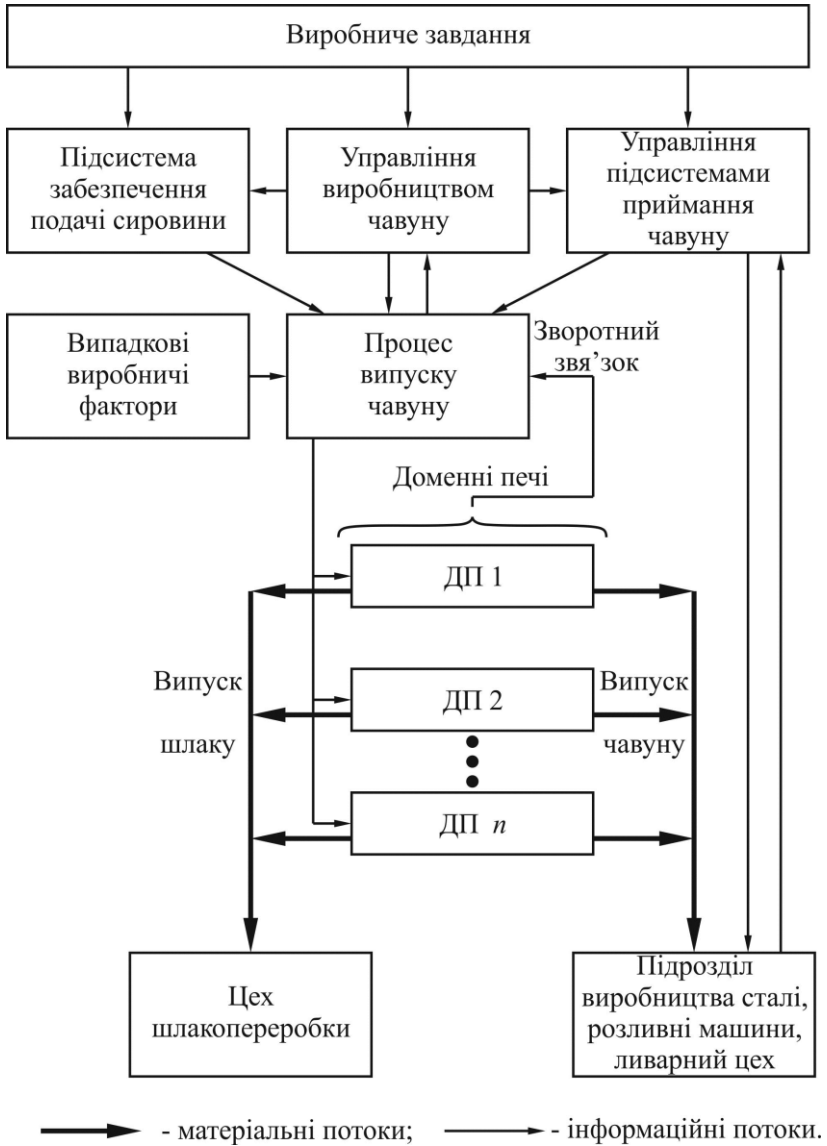


Рисунок 7.1 – Загальна концептуальна модель управління процесами випуску чавуну та шлаку доменними печами

В дещо спрощеному вигляді модель може виглядати наступним чином (рисунок 7.2).

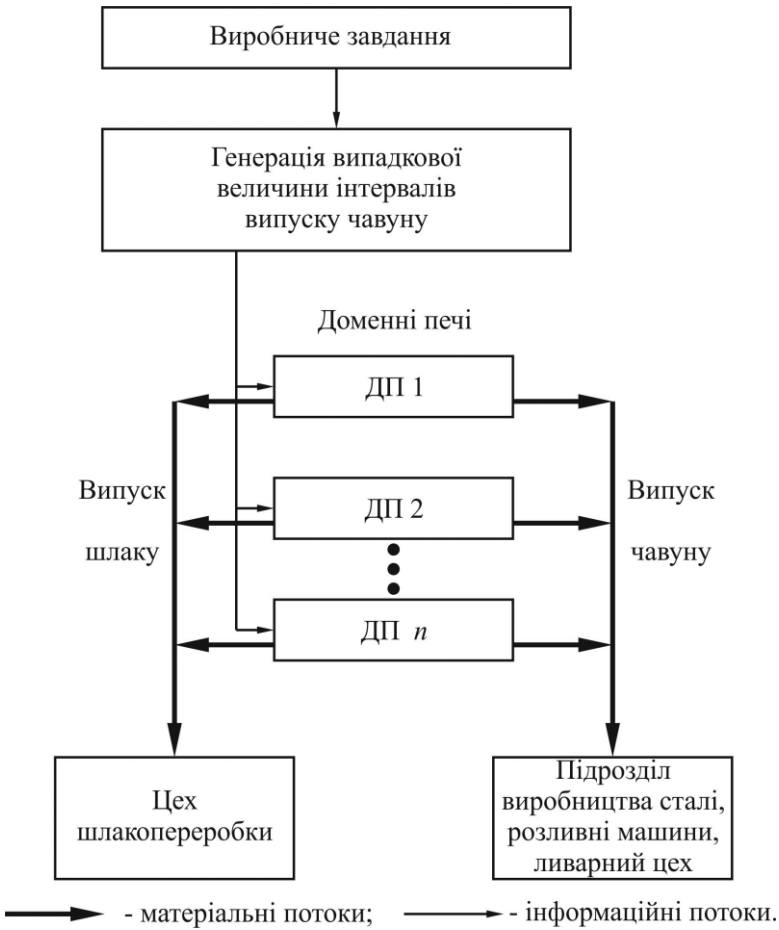


Рисунок 7.2 – Система компенсації впливу інших підсистем та зовнішніх факторів на процеси випуску чавуну та шлаку

Вплив інших підсистем та зовнішніх факторів компенсовано генерацією випусків чавуну за певним розподілом випадкової величини.

На рисунку 7.3 показана базова типова структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень рідкого чавуну.

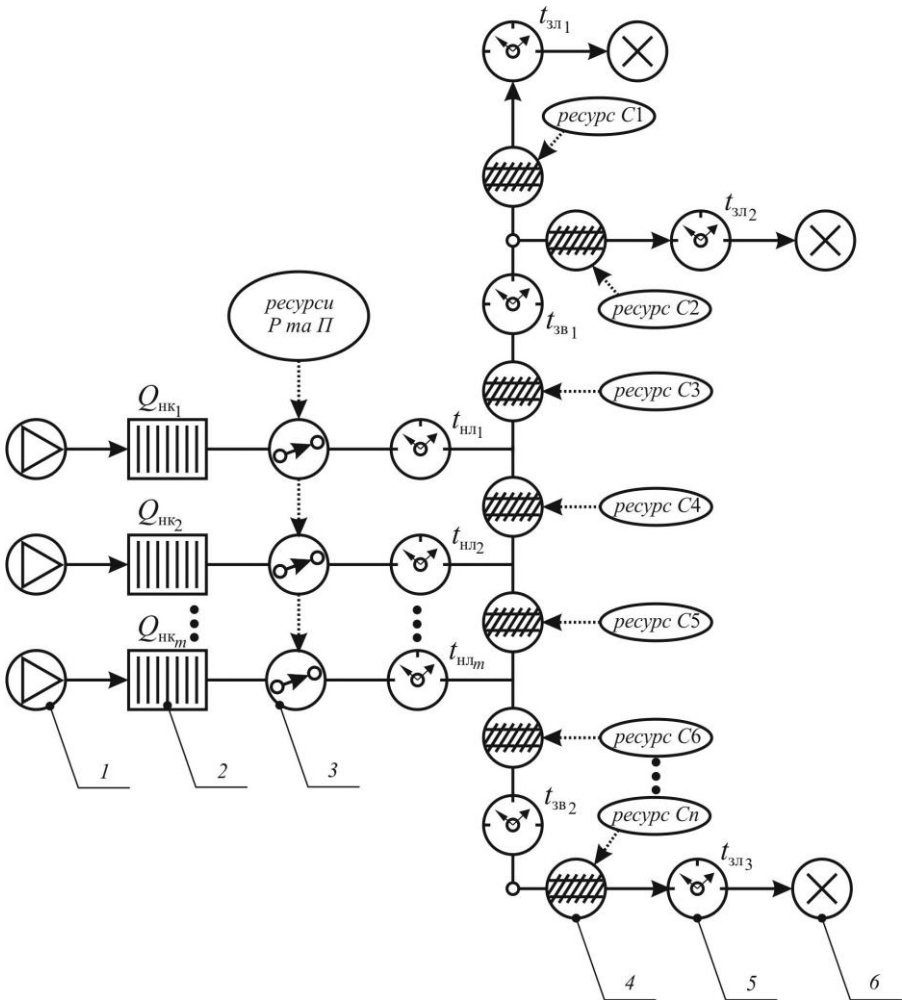


Рисунок 7.3 – Базова типова структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень чавуну

Структура на рисунку 7.3 складена з наступних стандартизованих елементів: 1 – генератор замовлень; 2 – черга

обслуговування; 3 – пристрій захвату рухомих та пересувних ресурсів; 4 – пристрій захвату стаціонарного ресурсу; 5 – пристрій обслуговування замовлень; 6 – знищувач замовлень.

За представленою структурою замовлення є вимогою на захват та переміщення ресурсів двох типів: P – пересувних (ковші) та R – рухомих (локомотиви). Замовлення знаходяться у черзі до появи вільних ресурсів. Після їх захоплення (елемент 3), визначається напрям руху замовлень до пристроїв обслуговування – які імітують роботу вагових систем (обслуговування відбувається протягом часу $t_{зв1}$, $t_{зв2}$) та кінцевих споживачів, наприклад, ливарного цеху, міксерного відділення та розливних машин (обслуговування відбувається протягом часу $t_{зл1}$, $t_{зл2}$, $t_{зл3}$).

В процесі руху замовлення захоплює стаціонарні ресурси (типу C), які імітують окремі ділянки залізничних колій. Ділянки визначаються з огляду на заперечення одночасного знаходження на них більш одного замовлення.

Вважається, що у разі руху замовлень назустріч одне одному, у місцях стикування ділянок вони мають можливість пропуску одне одного (фактично, це відбувається шляхом заїзду по напрямку колій наливу чавуну та ін. окремих печей). Тобто, досягнувши межі ділянки (що може імітуватись створенням моделі транспортної мережі, або затриманням заявки на час, необхідний для проходження ділянки), замовлення звільняють відповідний захоплений ресурс, який може приєднатись до іншого, у тому числі, зустрічного замовлення.

Після знищування замовлень (чавун вважається переданим до відповідної ланки виробничого процесу), ресурси очікують на чергове захоплення новими замовленнями.

Даний алгоритм передбачає циклічне утворення замовлень за визначений період до початку їх першого обслуговування (наливу рідкого чавуну) протягом часу $t_{нл1}$, $t_{нл1}$, ..., $t_{нлm}$. Але можна створювати замовлення вже на момент вивільнення пересувних ресурсів (ковшів). Фактично, диспетчер може планувати використання порожніх ковшів, навіть, якщо потреба в них ще не встановлена.

У цьому випадку структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень рідкого чавуну буде виглядати наступним чином (рисунок 7.4).

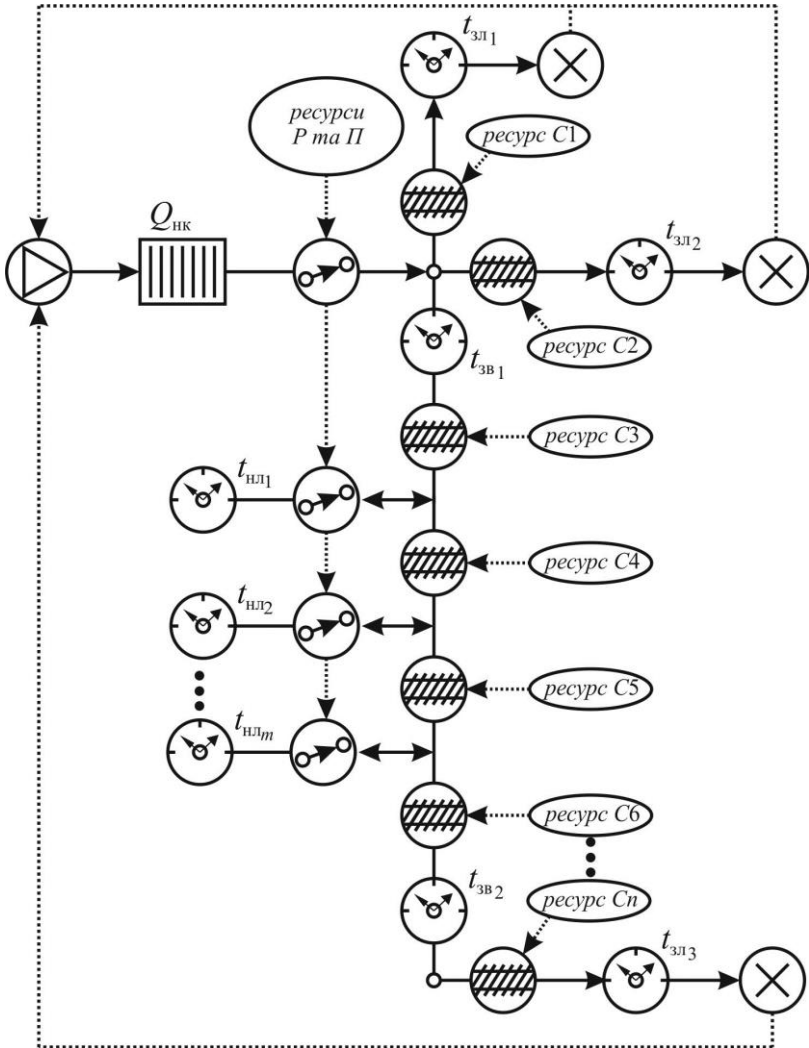


Рисунок 7.4 – Удосконалена структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень рідкого чавуну

За такої структури моделі, нові замовлення генеруються по факту знищення попередньо обслугованих замовлень. Зрозуміло, що для запуску системи потрібне разове утворення декількох замовлень.

Для нових замовлень за відповідною логікою моделі обирається пристрій обслуговування (доменна піч). Вибір може здійснюватись за найменшим часом до початку випуску чавуну, або за найбільшою відповідністю кількості вивільнених ресурсів (при знищенні оброблених замовлень) потребі відповідної печі.

Замовлення захоплюють вільні рухомі та пересувні ресурси (ковші і локомотиви) та рухаються з ними, послідовно захоплюючи стаціонарні ресурси (ділянки колій). Досягнувши заданого пристрою обслуговування, замовлення звільняють рухомі ресурси (локомотиви) через час $t_{нл1}$, $t_{нл1}$, ... , $t_{нлm}$ (рисунок 7.4), а пересувні ресурси (ковші) утримують і після закінчення процесу обслуговування.

Після першого обслуговування, замовлення знову захоплює рухомий ресурс (локомотив) та рухається до наступних пристроїв, які імітують зважування (протягом часу $t_{зв1}$, $t_{зв2}$ – зазвичай, використовуються дві вагові) та зливання рідкого чавуну (за час $t_{зл1}$, $t_{зл2}$, $t_{зл3}$ – відповідно до продуктивності ливарного цеху, міксерного відділення або розливних машин).

При передаванні замовлень пристрою, звільняються рухомі ресурси. Тривалість вантажних операцій може встановлюватись шляхом аналітичних розрахунків або генерації за попередньо підібраним теоретичним законом розподілу випадкової величини.

Після цього обслуговування, замовлення знищують, а ресурси, які вони утримували (ковші), звільняють. По факту знищення утворюються нові заявки генератором замовлень і цикл робіт повторюється знову.

Базові моделі можна розвивати, досягаючи більш глибокого рівня деталізації та більш розвиненої логіки управління.

Так, при моделюванні роботи печі може враховуватись наявність похилої ванни, яка дозволяє виконувати пересування основної партії ковшів за рахунок тимчасового спрямування потоку рідкого металу до окремого ковша. Можна передбачати окремі цикли прибирання цього ковша за принципом врахування наповненості до вантажопідйомності та обмеженням часу початку твердіння чавуну.

Також можна враховувати використання резервних ковшів, які з деякою ймовірністю можуть заповнюватись чавуном.

Вплив інших підсистем на роботу транспортної системи, наприклад, перевезень чушкового чавуну, враховується необхідністю

відволікання локомотивів на ці перевезення. Зазвичай, «холодна» сторона розливних машин є окремим маневровим районом та її обслуговування не впливає на використання інших ресурсів в системі перевезень рідкого чавуну (ковшів та ділянок колій, по яких вони пересуваються).

Перевезення рідкого доменного шлаку відрізняються від перевезень рідкого чавуну утворенням составів з декількох плавок печей. Кожний состав перевозиться окремим локомотивом, який обслуговує їх на одному або декількох пунктах злиття.

Базова структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень рідкого шлаку представлена на рисунку 7.5.

Відмінність даної моделі від показаної на рисунку 7.4 полягає у наявності елементів, позначених символами $Q_{\text{кв}}$ та $Q_{\text{ск}}$. Перший є чергою ковшів з вантажем, другий – імітує процес формування составів на відправлення.

Формування составів здійснюється за принципом досягнення у черзі $Q_{\text{кв}}$ такої кількості ковшів, яка відповідає, або перевищує розрахунковий розмір составу $Q_{\text{ск}}$ на відправлення (за тяговими розрахунками).

Крім того, состав формується з наявної кількості ковшів, якщо тривалість їх простою у завантаженому стані перевищує максимально припустиме значення $t_{\text{кв}} > t_{\text{max}}$.

Час обороту составу може бути представлений детально по операціях:

- рух до басейну грануляції;
- маневрова робота з постановки ковшів на фронт злиття шлаку;
- зливання ковшів у басейн;
- формування составу;
- рух составу до відвалу;
- маневрова робота з постановки ковшів на фронт вибивання;
- зливання залишків та вибивання ковшів;
- формування составу з порожніх ковшів;
- рух составу на станцію навантаження;
- обприскування внутрішньої поверхні ковшів;
- приймальні операції.

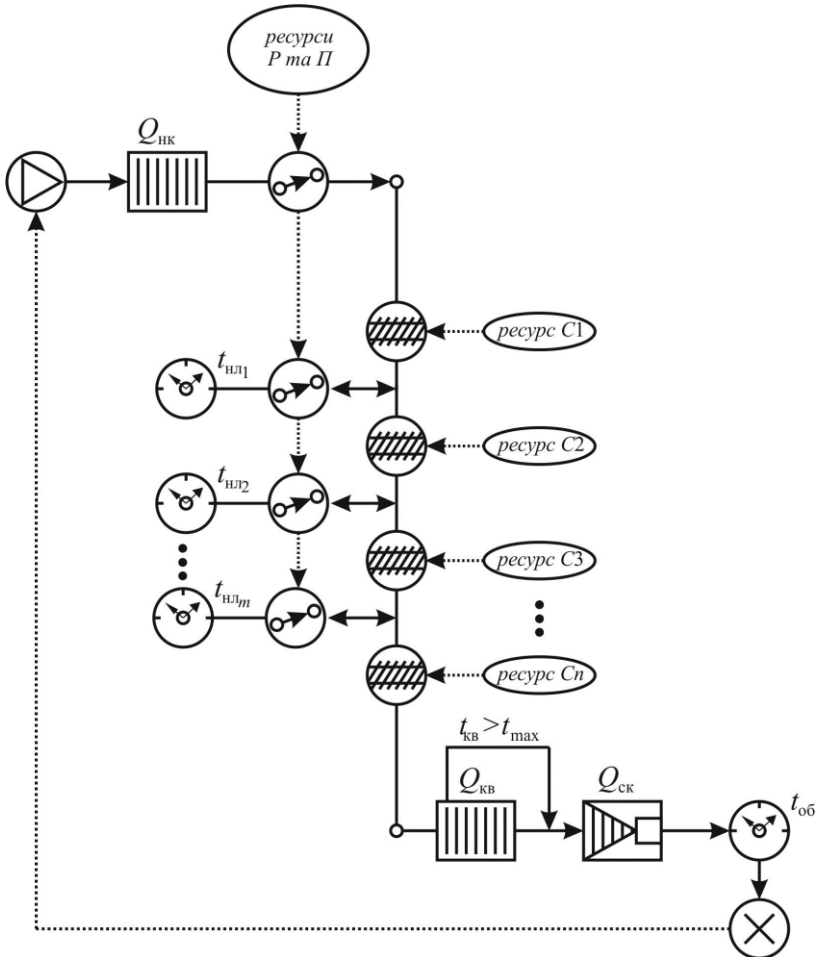


Рисунок 7.5 – Базова структура імітаційної моделі транспортної системи перевезень рідкого шлаку

Можна об'єднати всі вищевказані операції та задати фіксовану тривалість обороту складу або шляхом генерації за теоретичним законом розподілу випадкової величини.

Після закінчення обробки замовлень вони знищуються та здійснюється визивання нових замовлень.

Таким чином, в моделях транспортної системи перевезень продукції першого переділу металургійного підприємства в якості

замовлень виступають вимоги на подавання порожніх ковшів до печей. Кількість необхідних пересувних ресурсів (ковшів) для обслуговування окремого замовлення, встановлюється за фіксованим або змодельованим значенням випадкової величини.

Для руху замовлення разом з захопленими ним пересувними ресурсами використовується рухомий ресурс (локомотив).

Просування по ділянках колій, де можливі перетинання, тобто конфлікти, при русі замовлень, здійснюється шляхом захоплення стаціонарних ресурсів.

Практична реалізація моделі може бути виконана за допомогою програм імітаційного моделювання. Такі програми дозволяють створювати імітаційні моделі за допомогою стандартних елементів та спостерігати за ходом моделювання у вигляді анімації процесів та змінювати параметри роботи в діалоговому режимі.

Створення моделі починається з формування схеми колійного розвитку станції (рисунок 7.6).

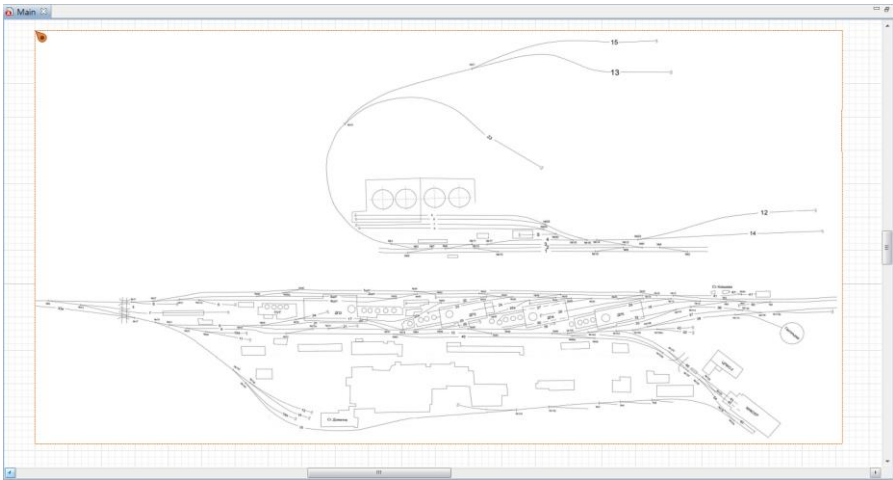


Рисунок 7.6 – Схема колійного розвитку

Створюється анімацію моделі, так як саме вона визначатиме структуру моделі – її транспортну мережу.

Топологія транспортної мережі задається групою фігур: прямокутники задають вузли мережі, а лінії – зв'язки між ними, що

відіграють роль шляхів руху заявок та ресурсів у модельованому просторі.

Для створення анімації використовується презентаційна палітра, яка містить набір елементарних фігур, за допомогою яких можна створити відповідне зображення.

Поверх схеми колійного розвитку прокладається транспортна мережа, по якій будуть рухатися заявки та ресурси та створюється топологія транспортної мережі моделі МЛС перевезень рідкого доменного шлаку (рисунок 7.7).



Рисунок 7.7 – Топологія транспортної мережі моделі МЛС перевезень рідкого доменного шлаку

Для створення транспортної мережі використовуються об'єкти типу «лінія» та «прямокутник». За допомогою «ліній» відображаємо перегони, станційні колії, «прямокутниками» відображаємо стрілочні перекладки, вантажні пункти, базові місця знаходження ресурсів – локомотивів, ковшів.

На діаграму додається об'єкт типу *Network*. Цей об'єкт задає властивості транспортної мережі моделі

Потім додаються об'єкти, що задають мережеві ресурси. Мережеві ресурси можуть бути трьох видів: рухомі, переносні і статичні. У нашому випадку локомотиви будуть задані рухомими ресурсами, а ковші переносними. Окремі ділянки колій будуть

відповідати статичним ресурсам.

Додаємо на діаграму класу *Main* об'єкти бібліотеки *Enterprise Library* типу *NetworkResourcePool*.

Об'єкти *ResourceLocShlak* та *ResourceKovshShlak* типу *NetworkResourcePool* описують, відповідно, рухомі (локомотиви) та переносні (ковші) ресурси (рисунок 7.8). Інші ресурси, задіяні в мережі, статичні та імітують зайняття окремих ділянок колій.

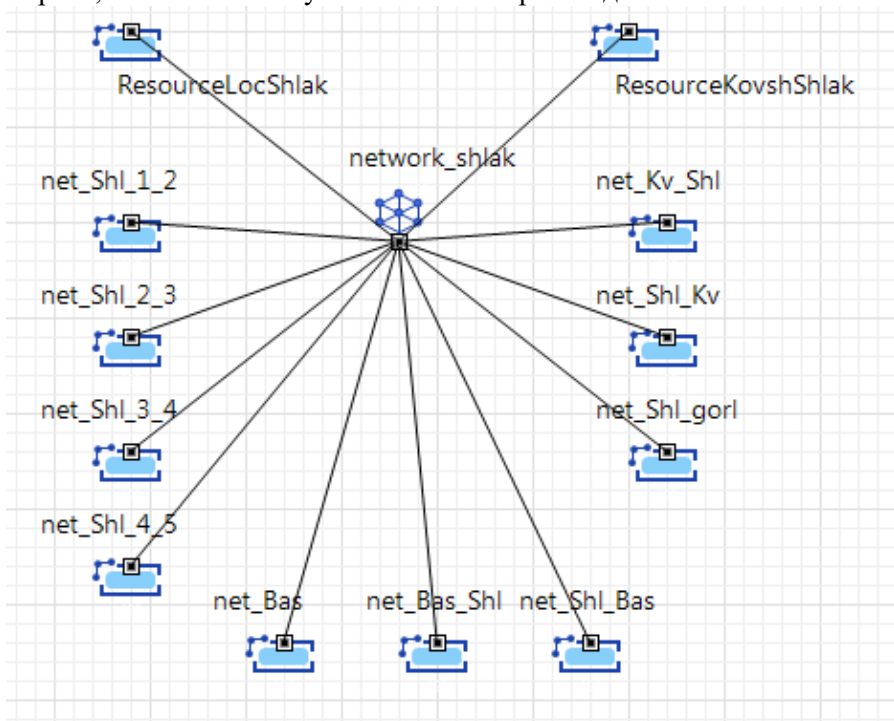


Рисунок 7.8 – Ресурси транспортної мережі імітаційної моделі

В спеціальній формі для кожної групи ресурсів, приєднаних до мережі *Network_shlak* вказується тип, кількість ресурсів даного типу, швидкість їх переміщення (в умовних одиницях), місце базового розташування на мережі, фігура анімації та ін.

Своєрідним «серцем» моделі є блок генерації подій (рисунок 7.9).



Рисунок 7.9 – Блок генерації подій моделі

Кожна подія *event_shl_2* - *event_shl_5* імітує закінчення випуску шлаку відповідною піччю №2 - №5.

Час подій, та їх дії задаються спеціальною формою, де зазначено, що подія відбувається через визначений час (за «таймаутом») циклічно. Період циклу заданий функцією нормального розподілу випадкової величини за параметрами, визначеними для кожної печі.

При настанні певної події виконуються наступні дії: розблокування елемента затримки руху замовлень у відповідній гілці моделі та перевірка своєчасного знаходження ресурсів (ковшів) на початок випуску шлаку. У разі зриву випуску плавки за відсутності ковшів, цей факт фіксується збільшенням відповідних змінних по кожній печі.

Подія *event_1* необхідна лише для початку роботи програми (виконується один раз за весь час роботи програми). Вона викликає чотири перших замовлення на подавання порожніх ковшів до печей.

Кожне замовлення викликає та захоплює до себе вільний рухомий ресурс – локомотив, потім разом з ним захоплюються також переносні ресурси – ковші. Замовлення рухаються по певних гілках програми (їх структура буде розглянута пізніше) разом з захопленими ресурсами – «локомотивом» та «ковшами» до елемента, який позначає місцезнаходження доменної печі. Ресурс «локомотив» звільняється –

від'єднується від замовлення, а ресурси «ковші» - залишаються разом з замовленням та очікують подію «закінчення плавки».

Після настання цієї події, замовлення з ресурсами «ковші» знову захоплює ресурс «локомотив» для руху в місце формування складу на відправлення зі станції Ковшова, і в цей момент в моделі генеруються нові замовлення на обслуговування доменної печі.

Таким чином, технологічний процес видачі шлаку з доменних печей виконується в моделі незалежно від транспортного обслуговування – за графіком випусків з урахуванням випадкового характеру відхилень від нього.

Транспортне обслуговування орієнтоване на виконання замовлень щодо подачі шлаковозів під печі, які утворюються в системі відразу по закінченню плавки.

Модель складена з таких елементів.

Об'єкт *Source*. Створює заявки. Зазвичай використовується в якості початкової точки потоку заявок. Заявки можуть створюватися згідно заданої інтенсивності (яка може змінюватися динамічно за допомогою методу *set_rate*, часу між прибуттям, що змінюється в часі інтенсивності, заданої за допомогою табличної функції (таблиці інтенсивності), розкладом, що задає точний час і кількість заявок, або шляхом виклику методу об'єкта *inject*, як це здійснюється в нашому випадку при настанні циклічних подій.

Об'єкт *Delay*. Затримує заявки на заданий період часу. Час затримки обчислюється динамічно, може бути випадковим, залежати від поточної заявки або від якихось інших умов. Одночасно можуть бути затримані відразу кілька заявок (не більше заданої місткості об'єкта *capacity*). Заявки затримуються незалежно один від одного - час затримки обчислюється окремо для кожної заявки. Як тільки час затримки закінчується, заявка залишає об'єкт. Якщо об'єкт *Delay* заповнений повністю, то нову заявку він не прийме, і в цьому випадку потрібно буде помістити перед ним спеціальний об'єкт буферизації, наприклад, *Queue*.

Об'єкт *Queue*. Моделює чергу заявок, які очікують прийому об'єктами, наступними за даними, або ж є сховищем заявок загального призначення. Можна задати максимальний час очікування заявки в черзі.

Заявка може покинути об'єкт *Queue* різними способами:

- через порт *out*, коли об'єкт, який є наступним в блок-схемі за об'єктом *Queue*, готовий прийняти заявку;
- через порт *outTimeout*, якщо заявка проведе в черзі задану кількість часу (якщо включений режим таймаута);
- через порт *outPreempted*, під тиском наступної заявки при заповненій черзі (якщо включений режим витискання);
- «вручну», шляхом виклику функції *remove* або *removeFirst*.

У першому випадку об'єкт *Queue* покидає заявка, яка знаходиться в самому початку черги (в нульовій позиції). Якщо заявка спрямована в порт *outTimeout* або *outPreempted*, то вона повинна покинути об'єкт миттєво.

Якщо включена опція витіснення, то об'єкт *Queue* завжди готовий прийняти нову заявку, в іншому випадку при заповненій черзі заявка прийнята не буде.

Об'єкт *SelectOutput*. Направляє вхідні заявки в один із двох вихідних портів залежно від виконання заданого (детерміністичного або заданого за допомогою ймовірностей) умови.

Умова може залежати як від заявки, так і від якихось зовнішніх факторів. Заявка, що надійшла, залишає об'єкт у той же момент часу.

Може використовуватися для сортування заявок відповідно до заданого критерію, для випадкового поділу потоку заявок на частині й т. ін.

Об'єкт *NetworkEnter*. Використовується при моделюванні транспортних мереж. Реєструє заявку в мережі і поміщає її в заданий вузол мережі. Після додавання в мережу заявка може переміщатися по мережі і використовувати мережеві ресурси. Операція додавання в мережу займає нульовий час.

Об'єкт *Hold*. Цей елемент блокує або розблоковує потік заявок на певній ділянці блок-схеми. Якщо об'єкт знаходиться в заблокованому стані, то заявки не надходять на його вхідний порт і чекатимуть, поки об'єкт не буде розблокований.

Станом об'єкта можна управляти програмно за допомогою методу *setBlocked*.

В розробленій моделі дані об'єкти блокують замовлення з ресурсами типу «ковші», які знаходяться в черзі (імітація наливу шлаку) до настання події закінчення випуску шлаку.

Об'єкт *NetworkSeize*. Використовується при моделюванні транспортних мереж. Об'єкт захоплює для заявки задану кількість

мережевих ресурсів. При необхідності може пересилати захоплені ресурси в заданий місце мережі та приєднувати їх до заявки.

Об'єкт *NetworkMoveTo*. Використовується при моделюванні транспортних мереж. Переміщує заявку в нове місце мережі. Якщо до заявки приєднані якісь ресурси, то вони переміщуються разом із заявкою. При цьому незалежно від швидкості ресурсів переміщатися така група із заявки та ресурсів буде зі швидкістю заявки. Час, який заявка проведе в цьому об'єкті, дорівнюватиме довжині найкоротшого з можливих шляхів з поточного місця розташування заявки у вузол призначення, поділеної на швидкість заявки. Заявка буде відображатися на анімації мережі, що рухається уздовж обраного маршруту.

Об'єкт *NetworkRelease*. Використовується при моделюванні транспортних мереж. Звільняє всі або якісь певні мережеві ресурси (раніше захоплені заявкою за допомогою об'єкту *NetworkSeize*). У разі звільнення якихось певних ресурсів, вони вибираються із загального числа захоплених ресурсів згідно заданому списку. Вся операція займає нульовий час.

Об'єкт *NetworkExit*. Використовується при моделюванні транспортних мереж. Видаляє заявку з мережі. Заявка при цьому перестає відображатися на анімації мережі.

Об'єкт *Sink*. Знищує заявки. Зазвичай використовується в якості кінцевої точки потоку заявок.

Для зручності подальшого опису програми розділимо основну частину моделі на три блоки.

В першому блоці утворюються замовлення, які захоплюють вільний ресурс «локомотив» (у разі його відсутності, очікують на нього в черзі). Потім за законом розподілу випадкової величини замовленої кількості ковшив за допомогою елементів *SelectOutput* замовлення направляється через відповідний елемент типу *NetworkSeize*, де вказано, скільки ресурсів необхідно захватити.

В нашому випадку передбачена можливість виходу замовлення з об'єкту *NetworkSeize* не тільки при захопленні потрібної кількості ресурсу «ковши», а і у випадку відсутності протягом тривалого часу потрібної кількості цих ресурсів (вихід «за таймаутом»). В цьому випадку захоплюється хоча б один ківш та утворюється додаткове замовлення на надолуження їх потрібної кількості.

Надалі замовлення направляєтся до тієї печі, час випуску шлаку в якій наступить скоріше, ніж в інших.

Таким чином, до другого блоку програми замовлення надходить до відповідної гілки обслуговування окремої печі. Ці гілки відрізняються шляхом прямування замовлень. По мірі просування до печі, замовлення разом з захопленими ресурсами («локомотивом» і «ковшами») захоплюють статичні ресурси – ділянки колій, та рухаються по них.

На окремій ділянці не може знаходитись більше одного составу, тобто одна ділянка – це один окремий ресурс. Коли замовлення переходить на нову ділянку, попередньо захоплена ділянка звільняється та може бути захоплена іншим замовленням. У разі зустрічного руху замовлень вони наближаються до межі захоплених ділянок, і коли зустрінуться у цьому місці, зможуть, по-суті, обміняти своїми ділянками (звільнити «свою» та захопити «чужу»).

Стосовно реальних об'єктів, ця ситуація розуміється наступним чином: місцем стикування ділянок є стрілочні перекази, які з'єднують три ділянки, тому один з составів може переїхати на вільну ділянку, пропустити зустрічний состав по стрілці та зайняти колію, яку він вивільнив.

По надходженні навантажених ресурсів - «ковшів» до місця накопичення, вони звільняються від замовлення. Це замовлення знищується об'єктом *sink1* та відразу цей об'єкт викликає утворення об'єктом *source2* нової групи замовлень за кількістю ковшів, які рухались зі знищеним замовленням. Ці дії обумовлені технічними особливостями програми і необхідні для реалізації третього блоку, який забезпечує імітацію руху составів, які обмежені по кількості ковшів та іноді потребують розділення навантажених окремими печами груп.

В третьому блоці програми визначається розмір составу: або при досягненні максимального розміру в черзі накопичення, або при перевищенні припустимого терміну знаходження «ковшів» в цій черзі (вихід «за таймаутом»). В цьому блоці одне замовлення відповідає одному «ковшу». Після формування составу, фіксується його розмір; замовлення, знищуються об'єктом *sink2*, окрім одного, яке надалі захоплює відповідну розміру составу кількість ресурсів. Тобто це залишене замовлення імітує рух одного составу з декількома ресурсами – «ковшами».

Замовлення рухається по мережі за технологічним маршрутом прямування, потім звільняє всі захоплені нею ресурси та знищується об'єктом *sink*.

Головними результатами роботи моделі є такі показники:

- час використання ресурсу «локомотиви»;
- час використання ресурсу «ковші»;
- кількість зафіксованих зривів в роботі печей з причини несвоєчасної постановки ковшів.

Додатково можна аналізувати:

- розподіл часу від постановки ковшів на фронт наливання рідкого шлаку до початку випуску;
- час обороту составів та ін.

Статистичні дані збираються спеціально розробленими об'єктами програми та відображаються у вигляді діаграм

Імітація роботи здійснювалась за мінутним масштабом часу протягом місяця роботи.

Перед кожним прогоном змінювались (в сторону збільшення та зменшення відносно розрахованих аналітичним шляхом значень) параметри кількості ресурсів: ковшів та локомотивів.

Результати роботи імітаційних моделей можуть бути представлені у табличному (додаток Д) або графічному вигляді.

На рисунку 7.10 представлені результати визначення параметрів МЛС перевезень рідкого шлаку в умовах базового підприємства «Запоріжсталь» (затемнені області характеризують зростання ймовірності зривів в обслуговуванні цехів).

Поліноміальною апроксимацією дані залежності можна представити у вигляді поліномів другого ступеня. Коефіцієнт використання локомотивів визначається за виразами:

$$k_4 = 0,0169x^2 - 0,1665x + 1,1252, \quad (7.1)$$

$$k_5 = 0,0063x^2 - 0,0749x + 1,0704, \quad (7.2)$$

де k_4 , k_5 – коефіцієнти при використанні на перевезеннях чотирьох та п'яти локомотивів відповідно; x – кількість ковшів. Величина достовірності апроксимації для функції (7.1) $R_4^2 = 0,9958$, для функції (7.2) $R_5^2 = 0,998$.

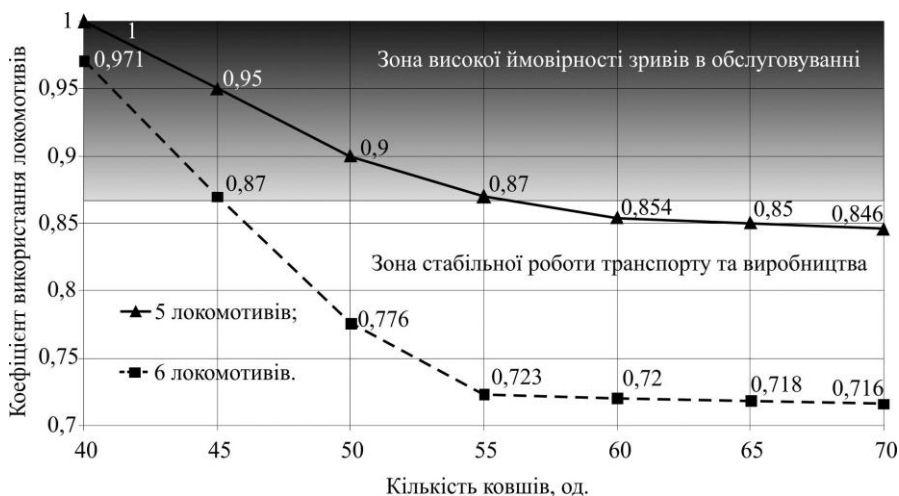


Рисунок 7.10 – Графіки залежності коефіцієнту використання локомотивів від кількості ковшів

З аналізу результатів роботи можна зробити наступні висновки:

- при використанні в роботі 4 локомотивів кількість зривів в обслуговуванні доменного цеху дуже високе. Збільшення кількості ковшів не призводить до суттєвого покращення ситуації;
- при використанні в роботі 5 локомотивів необхідно не менше 56 ковшів, щоб уникнути зривів в роботі;
- при використанні в роботі 6 локомотивів достатньо 45 ковшів.

По кожному з можливих варіантів роботи були виконані економічні розрахунки, які довели доцільність використання 5 локомотивів та 56 ковшів.

Контроль за реалізацією управлінських рішень та аналіз відповідності результатів моделювання з фактичними показниками роботи здійснюється шляхом використання на локомотивах системи GPS.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Турпак С. М. Методи та моделі управління вагонопотоками на металургійних підприємствах : монографія. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 146 с.
2. Турпак С. М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств : монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 264 с.
3. Б.П. Серета, С.М. Турпак, І.В. Кругляк, О.О. Острогляд, Д.Я. Муковська, Д.Б. Серета, Д.О. Кругляк. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства: монографія. Кам'янське : ДДТУ, 2021. 272 с.
4. А. с. 65138 Україна. Програма для побудови контактних графіків транспортного обслуговування виробничих підрозділів металургійного підприємства. Турпак С.М., Грицай С.В. (Україна). Зареєстр. 04.05.2016. – 1с.
5. Серета, Б.П. Підвищення ефективності перевезень на технологічних маршрутах транспортно-виробничої системи перевезення металургійних шлаків / Серета Б.П., Турпак С.М., Романюк С.О., Муковська Д.Я. // Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2023. Том 17, №1, с. 147–152.
6. Турпак, С.М. Формування комплексного підходу до досліджень впливу транспортно-промислових процесів на сіті-логістичні системи / Турпак С.М., Кузькін О.Ф., Трушевський В.Е., Острогляд О.О. // Вісник машинобудування та транспорту. №2(18). 2023. С. 168-174. doi: 10.31649/2413-4503-2023-18-2-168-174.