

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний
(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ ВАНТАЖІВ НА
МЕТАЛУРГІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО ШЛЯХОМ ОПЕРАТИВНОГО
ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Виконав: студент ІІ курсу, групи T-822м

Спеціальності 275 «Транспортні технології
(за видами)»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
275.02 «Транспортні технології
(на залізничному транспорті)»

		Олександр КВАСОВ (прізвище та ініціали)
Керівник		Олена ОСТРОГЛЯД (прізвище та ініціали)
Рецензент		Андрій ЦЕРБИНА (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ Транспортний
Кафедра _____ «Транспортні технології»
Ступінь вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 275 «Транспортні технології (за видами)»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) 275.02 «Транспортні технології (на
залізничному транспорті)»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КВАСОВА Олександра Сергійовича

(ПІРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення процесу надходження вантажів на металургійне підприємство шляхом оперативного планування роботи залізничного транспорту

керівник проєкту (роботи) ОСТРОГЛЯД Олена Олександрівна,

(науковий ступінь, вчене звання, ПІРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» листопада 2023 року №450

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.

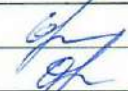
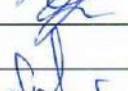
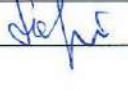
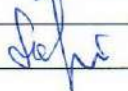
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) статистичні дані обсягів надходження сировини, фактичні обсяги залишків необслугованих вагонів на початок доби, характеристика вантажних фронтів ПАТ «Запоріжсталь», існуюча технологія оперативного планування роботи залізничного транспорту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Основна частина, 2.1 Проведення аналізу даних підприємства щодо середньодобових надходжень та залишків вагонів із сировиною, 2.2 Побудова логіки моделі, 2.3 Вимірювання тривалості простою вагонів в системі, 2.4 Розробка інтерфейсу вікна запуску моделі, 2.5 Проведення експериментів на розробленій моделі та аналіз результатів, 3 Економічна частина, 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

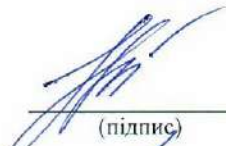
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ОСТРОГЛЯД О.О., доцент		
2	ОСТРОГЛЯД О.О., доцент		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

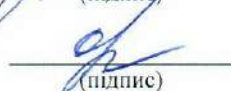
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	30.10.2023-06.11.2023	
2	Основна частина	07.11.2023-20.11.2023	
3	Економічна частина	21.11.2023-27.11.2023	
4	Охорона праці	28.11.2023-01.12.2023	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	01.12.2023-25.01.2024	

Студент(ка)


(підпис)

Олександр КВАСОВ
(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Олена ОСТРОГЛЯД
(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 81 с., 12 табл., 33 рис., 3 дод., 12 джерел,.

ЗАЛІЗОРУДНИЙ КОНЦЕТРАТ, ВАНТАЖОПОТІК, ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ, НАПІВВАГОН, ВАНТАЖНИЙ ФРОНТ, ГРАФІК НАДХОДЖЕНЬ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ПРОСТІЙ.

Об'єкт дослідження – технологічний процес доставки сировини на підприємство ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – удосконалення процесу надходження вантажів на металургійний комбінат ПАТ «Запоріжсталь» шляхом оперативного планування роботи залізничного транспорту.

Методи дослідження – аналітичний, графічний, статистичний аналіз, метод імітаційного моделювання.

В магістерській роботі проведено аналіз надходжень сировини на металургійний комбінат ПАТ «Запоріжсталь». Виділено основні вантажопотоки та проаналізовано обсяги їх залишків на підприємстві. Проведено статистичний аналіз інтервалів надходжень вантажів та встановлено середньодобові показники цих надходжень.

Розроблено імітаційну модель, що відтворює процес надходження вагонів із сировиною та їх розподіл на фронти вивантаження. Проведено низку експериментів на розробленій моделі в умовах зміни часу постачання залізничного концентрату на комбінат протягом одного дня. Згідно отриманих результатів розроблено рекомендації щодо оперативного управління графіком надходжень сировини. Доцільність пропонованих рішень підтверджується економічними розрахунками.

ЗМІСТ

	с.
Завдання на проєкт.....	2
Реферат.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	7
1 Аналітична частина.....	9
1.1 Особливості транспортування залізорудної сировини металургійних підприємств.....	9
1.2 Характеристика вантажопотоків сировини комбінату ПАТ «Запоріжсталь».....	12
1.3 Характеристика Південного району ПАТ «Запоріжсталь».....	17
1.4 Характеристика вантажних фронтів обслуговування вагонів із сировиною.....	19
1.5 Основні принципи оперативного планування роботи залізничного транспорту.....	22
1.6 Постановка завдань та обґрунтування необхідності дослідження	24
2 Основна частина.....	26
2.1 Проведення аналізу даних підприємства щодо середньодобових надходжень та залишків вагонів із сировиною	26
2.2 Побудова логіки моделі.....	30
2.3 Вимірювання тривалості простою вагонів в системі.....	44
2.4 Розробка інтерфейсу вікна запуску моделі.....	48
2.5 Проведення експериментів на розробленій моделі та аналіз результатів.....	51
3 Економічна частина.....	57
3.1 Економічне обґрунтування доцільності пропонованих рішень...	57

3.2	Розрахунок витрат та можливого економічного ефекту в залежності від часу надходження залізорудного концентрату на підприємство.....	58
4	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.....	65
4.1	Аналіз потенційних небезпек.....	65
4.2	Заходи безпеки з цивільного захисту	65
4.2.1	Вимоги до систем електропостачання	65
4.2.2	Заходи з пожежної безпеки	66
	Висновки.....	68
	Перелік джерел посилань.....	70
	Додаток А Аналіз додаткових потенційних небезпек.....	72
	Додаток Б Заходи по забезпеченню безпеки.....	73
	Додаток В Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	75

ВСТУП

В умовах сучасного промислового виробництва, ефективне управління логістичними процесами та надходженням сировини є важливим аспектом забезпечення стабільності та конкурентоспроможності металургійних підприємств. Одним із ключових етапів ефективної роботи підприємства є надійне та оптимальне планування роботи залізничного транспорту у сфері надходження вантажів на металургійні підприємства.

В умовах змінного ринкового середовища та постійного росту конкуренції, необхідність оптимізації логістичних процесів стає важливою умовою ефективності та виживання підприємства. Розвиток ефективної системи оперативного планування надходження вантажів не лише підвищить продуктивність виробництва, але й сприятиме зниженню витрат та підвищенню загальної конкурентоспроможності підприємства на ринку.

Впровадження вдосконалених методів оперативного планування у процес надходження вантажів на металургійне підприємство може призвести до численних переваг та покращень. Використання ефективних методів планування дозволяє оптимізувати розклад руху поїздів та обробки вантажів, зменшуючи час затримок і підвищуючи загальну ефективність роботи.

Працюючи за оптимальною схемою руху та вантажопереробки, підприємство може зменшити витрати на паливе, енергію та інші ресурси, що є важливим чинником для забезпечення економічної стійкості.

Оптимізоване планування може призвести до збільшення пропускної здатності вантажних терміналів та залізничних ліній, що є ключовим аспектом при обробці великого обсягу вантажів.

Система оперативного планування може допомогти уникнути затримок та конфліктів, сприяючи більш точному прогнозуванню та вчасному реагуванню на непередбачені ситуації.

Оптимізація руху поїздів та обробки вантажів може призвести до зме-

ншення викидів, що відповідає сучасним вимогам щодо екологічної дієздатності підприємств.

Вдосконалені методи планування дозволяють збирати та аналізувати дані, що в свою чергу надає можливість для розробки більш точних та ефективних стратегій управління у майбутньому.

Ці переваги визначають важливість вдосконалення методів оперативного планування для підвищення ефективності та конкурентоспроможності металургійного підприємства в умовах сучасного бізнес-середовища.

Тому дана магістерська робота присвячена дослідженню та удосконаленню процесу надходження вантажів на металургійне підприємство з використанням оперативного планування роботи залізничного транспорту.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості транспортування залізорудної сировини металургійних підприємств

ПАТ «Запоріжсталь» - одне з найбільших металургійних підприємств в Україні та Європі, спеціалізоване на виробництві сталі. На заводі використовується різноманітна сировина, але основною сировиною є залізна руда [1].

Внаслідок переробки залізної руди формуються три основних типи залізорудної сировини (ЗРС). Залізорудний концентрат, який представляє собою мікродисперсний продукт, має хімічний та мінералогічний склад, що відповідає вимогам металургійної обробки. Це вихідний матеріал, який не придатний для прямого використання в доменних печах або агрегатах прямого відновлення, проте використовується як напівфабрикат для виробництва доменних окатишів і як сировина для процесу металізації.

Доменні окатиші, які виробляють із пилоподібної руди та тонкоподрібнених концентратів, формуються шляхом огрудкування та зміцнення випалом чи іншими методами, які не вимагають випалювання. Окатиші з вмістом заліза не менше 62% використовуються для виробництва чавуну у доменних печах. Окатиші для металізації, які мають не менше 66% заліза, використовуються переважно для отримання заліза прямого відновлення (DRI, HBI).

Агломерат, який представляє собою кусковий матеріал для доменної плавки, утворюється шляхом спікання руди (приблизно 50%), вапняку (приблизно 20%), дрібного коксу (приблизно 10%), колошникового пилу та інших компонентів за допомогою спеціальних агломераційних машин. Ця залізорудна сировина менш крихка порівняно із спеченими окатишами, тому намагаються розміщувати її якнайближче до ділянок подальшої переробки, часто у складі металургійного комбінату.

Транспортні характеристики залізорудної сировини визначаються її фізичними та хімічними властивостями, а також специфікаціями для оптималь-

ного транспортування з місця видобутку до місця обробки чи використання.

Залізорудна сировина може бути чутливою до вологи, що впливає на її масу та консистенцію. Тому важливо уникати зайвого вологовмісту під час транспортування [2].

Розмір частинок залізорудної сировини може варіювати. Для ефективного транспортування важливо враховувати цей параметр при виборі транспортних засобів та упаковки.

В залежності від ступеня пористості можна виділити щільні, малопористі та пухкі руди. Пористість визначається як один з ключових показників якості руди, оскільки вона позитивно впливає на її відновлюваність під час доменної плавки. З іншого боку, хоча пориста руда сприяє полегшенню витікання, вона також має властивості гігроскопічності, вивітрюваності та легкості подрібнення, що може призводити до збільшення втрат під час зберігання, перевантаження та транспортування, а також збільшує ймовірність змерзання.

Пористість може бути визначена у природному стані (пористість масиву рудного тіла), у найбільш пухкому та найбільш ущільненому станах. Процес видобутку та підготовки до транспортування може суттєво збільшити пористість. Коефіцієнт розпушення гірської породи, який визначається як відношення об'єму до маси після та до розпушення, для щільних та малопористих порід становить 1,6-1,8, а для пухких порід - 1,2-1,3.

З метою оптимізації використання вантажопідйомності транспортного засобу та зменшення впливу зустрічних потоків повітря під час транспортування, розпушені вантажі ущільнюються. При цьому можливе скорочення об'єму, що характеризується коефіцієнтом ущільнення. Розмір коефіцієнта ущільнення залежить від гранулометричного складу, коефіцієнта внутрішнього тертя і сили навантаження. Зменшення об'єму вантажу внаслідок динамічних навантажень відбувається шляхом компактного розташування частинок, при цьому менші частинки заповнюють вільний простір (пори) між більшими.

Спосіб транспортування може впливати на пористість залізорудної сировини. Наприклад, пилоподібна сировина може мати інші вимоги щодо упаковки порівняно з окатишами.

Масова густина визначає вагу сировини на одиницю об'єму і важлива для розрахунків та оптимізації вантажопідйомності транспортних засобів.

Залежно від ступеня обробки залізорудної сировини, її можна транспортувати у вигляді концентрату, окатишів або агломератів. Важливо враховувати ступінь стійкості та жорсткості при виборі методу транспортування та упаковки.

Деякі технологічні процеси або властивості сировини можуть вимагати контролю температури під час транспортування. Залізорудна сировина відноситься до сипких вантажів, які мають властивості змерзатися. Тому при перевезенні в холодний період року треба вживати спеціальних засобів щодо попередження змерзання [2].

Гранулометричний склад та особливі властивості мінеральних вантажів, такі як змерзання, злежуваність, зв'язність і липкість, можуть призвести до випадкового утворення склепінь над випускними отворами бункерів, воронки та люків рухомого складу. Це явище утруднює вільний витік вантажу і вимагає впровадження спеціальних заходів для нормалізації процесів завантаження. Таким чином, при розрахунках розмірів випускних отворів слід враховувати типові розміри часток вантажу, початковий опір зсуву та кут внутрішнього тертя, які залежать від характерних властивостей руди.

Залізорудні концентрати зберігаються на відкритих майданчиках, і атмосферна волога навіть під час тривалих дощів проникає лише на глибину 20-30 см, не впливаючи на заводську вологість вантажу.

Технологія зберігання рудних вантажів залежить від їхніх конкретних властивостей. Усі види залізних руд, їхні концентрати, а також руди деяких кольорових металів зберігаються на відкритих майданчиках, які перед тим сплановані та забетоновані. Кожен сорт і марка зберігаються окремо, і виключається змішування.

1.2 Характеристика вантажопотоків сировини комбінату ПАТ «Запоріжсталь»

На підприємство надходять різноманітні види вантажів, такі як аглоруда, мартенівська залізна руда, вапно для флюсування, негашене вапно, вапняк, вугільний концентрат, кам'яне вугілля, доменний кокс, дрібний кокс, горішок коксовий, залізорудний концентрат, марганцевий порошок, окатиші, торф і інші.

Таблиця 1.1 – Обсяги надходження вантажів на комбінат ПАТ «Запоріжсталь»

Місяць	Надходження вантажу, вагони						
	Залізорудний концентрат	Рудні матеріали	Вапняк	Кокс	Вугілля	Окатиші	Інші
Січень	3742	2569	1943	1720	733	2208	295
Лютий	4053	1776	1942	1801	1287	2119	216
Березень	4104	3216	2318	1805	638	2433	315
Квітень	3692	2801	1581	1779	929	1904	89
Травень	3757	2821	1562	1567	862	992	81
Червень	4078	2950	1599	1185	1089	873	177
Липень	3734	3032	1448	1947	516	721	286
Серпень	3271	2894	1323	2060	999	2130	252
Вересень	3141	2493	1522	1903	1396	1787	308
Жовтень	3700	2748	2357	2092	801	2226	107
Листопад	3898	2603	1467	1769	489	1688	255
Грудень	3741	2883	1784	1792	1020	2391	240

Річні вантажопотоки становлять:

- залізорудний концентрат	44911 вагонів /рік;
- рудні матеріали	32786 вагонів /рік;
- вапняк	20846 вагонів /рік;
- кокс	21420 вагонів /рік;
- вугілля	10759 вагонів /рік;
- окатиші	21472 вагонів /рік;
- інші	2621 вагонів /рік.

Нижче наведена діаграма процентного співвідношення надходжень різних видів вантажів на комбінат (рис. 1.1). Найбільшу частку постачань складають залізорудний концентрат та рудні матеріали.

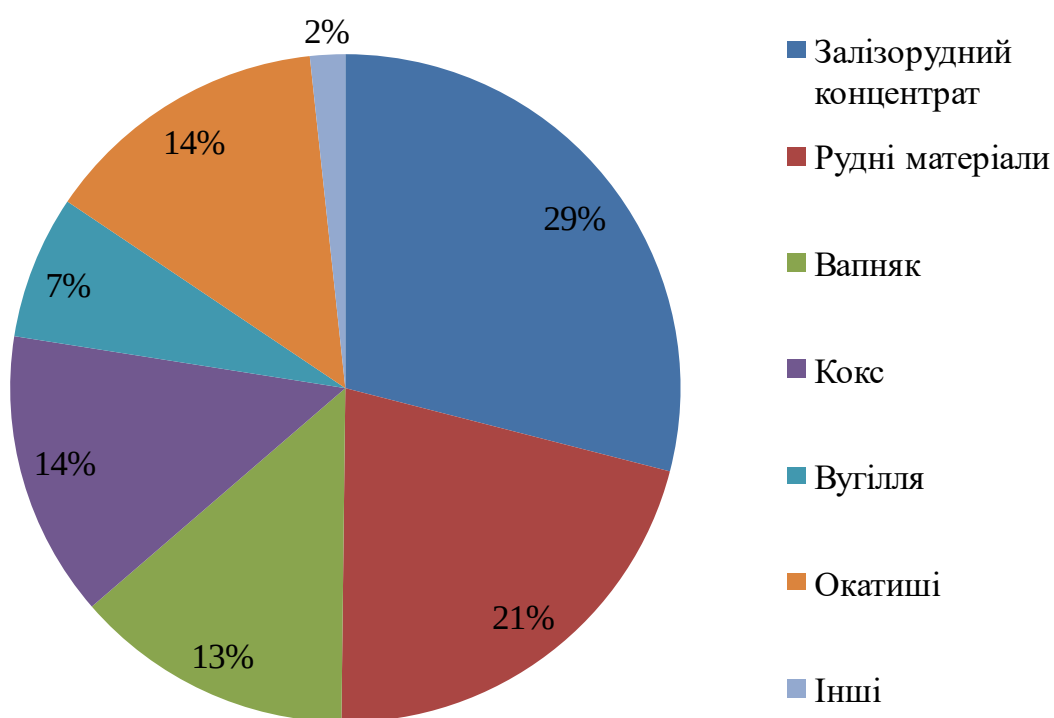


Рисунок 1.1 - Співвідношення річних обсягів надходжень різних видів вантажів

Розглянемо дані щодо обсягу надходження вантажів за місяцями (рис.1.2)

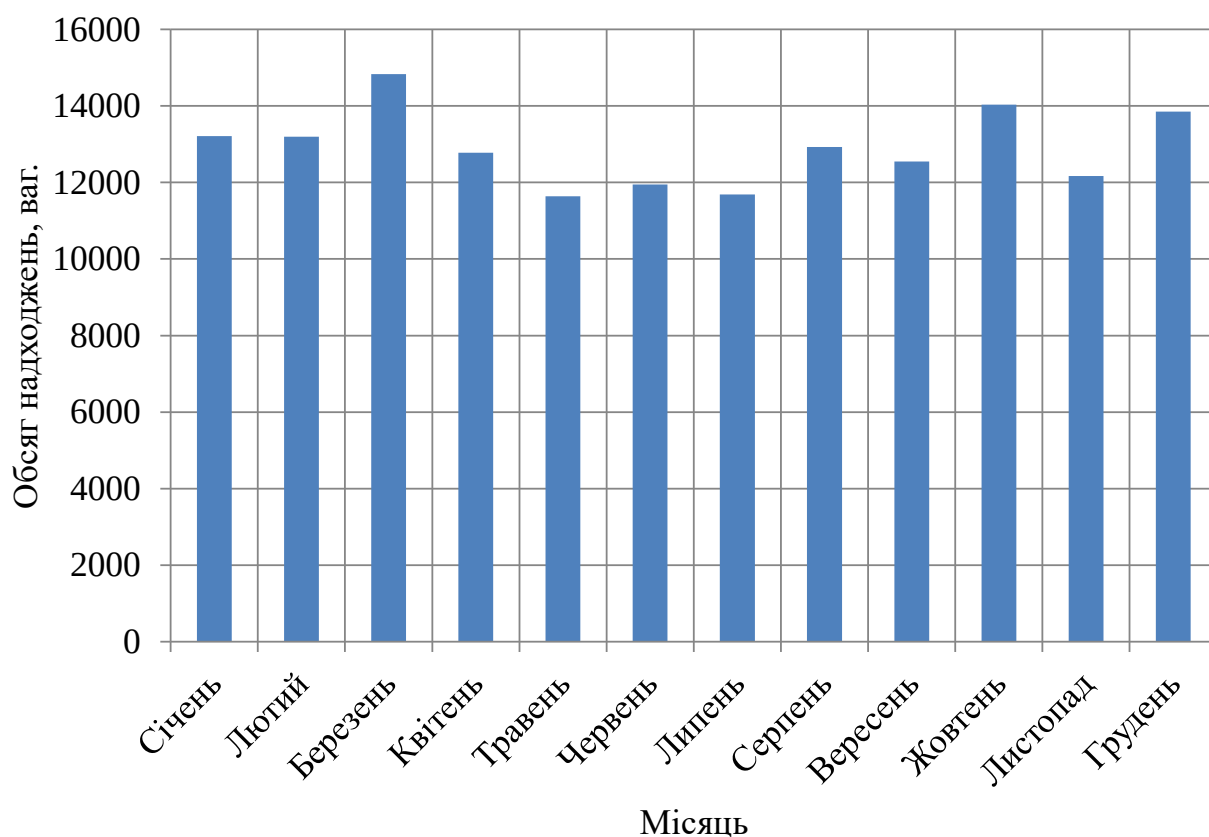


Рисунок 1.2 - Загальні обсяги надходження вантажів за місяцями

В цілому можна сказати, що різниця обсягів надходжень в залежності від місяця більш менш стабільні. Середнє значення обсягів надходжень - 12900 вагонів на місяць. Найбільші постачання можемо спостерігати у березні, жовтні та грудні. Найнижчі – травень, липень листопад.

Окрім обсягів надходжень вантажів, в рамках даної роботи треба враховувати ще обсяги залишків сировини на підприємстві. Було проведено аналіз залишків на початок кожного місяця на протязі року. В табл. 1.2 та табл.1.3 наведені фактичні дані щодо залишків вантажів на початок місяця в тонах та у вагонах відповідно.

Таблиця 1.2 - Залишки вантажів на початок місяця в тонах

Місяць	Обсяг залишків вантажу в тонах						
	Концен- трат	Рудні ма- теріали	Ока- тиші	Вапняк	Кокс	Вугіл- ля	Інші
Січень	69718	42608	1400	1100	3004	41810	2645
Лютий	54946	38432	1540	4300	7516	28277	5000
Березень	67014	39520	1650	3240	9005	60089	11443
Квітень	95475	66143	1650	2800	13255	41161	22700
Травень	99318	70575	1650	3500	15298	21717	14420
Червень	96206	63489	1544	600	26170	37756	22155
Липень	111483	91109	1650	3200	17994	553	29793
Серпень	110834	83319	1650	3200	11560	12975	22593
Вересень	78387	63541	1650	4900	7435	19252	22319
Жовтень	56379	48337	1650	7200	7269	54827	20541
Листопад	43514	37330	0	5550	15454	39348	23668
Грудень	62280	42602	0	850	9037	16036	7800

Таблиця 1.3 - Залишки вантажів на початок місяця в вагонах

Місяць	Обсяг залишків вантажу в вагонах						
	Конце- нтрат	Рудні матері- али	Ока- тиші	Вапняк	Кокс	Вугіл- ля	Інші
1	2	3	4	5	6	7	8
Січень	1010	618	20	16	44	606	38
Лютий	796	557	22	62	109	410	72
Березень	971	573	24	47	131	871	166
Квітень	1384	959	24	41	192	597	329
Травень	1439	1023	24	51	222	315	209
Червень	1394	920	22	9	379	547	321

Кінець таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Липень	1616	1320	24	46	261	8	432
Серпень	1606	1208	24	46	168	188	327
Вересень	1136	921	24	71	108	279	323
Жовтень	817	701	24	104	105	795	298
Листопад	631	541	0	80	224	570	343
Грудень	903	617	0	12	131	232	113

На рисунку наведений графік коливань обсягів залишків залізрудного концентрату та рудних матеріалів на початок місяця.

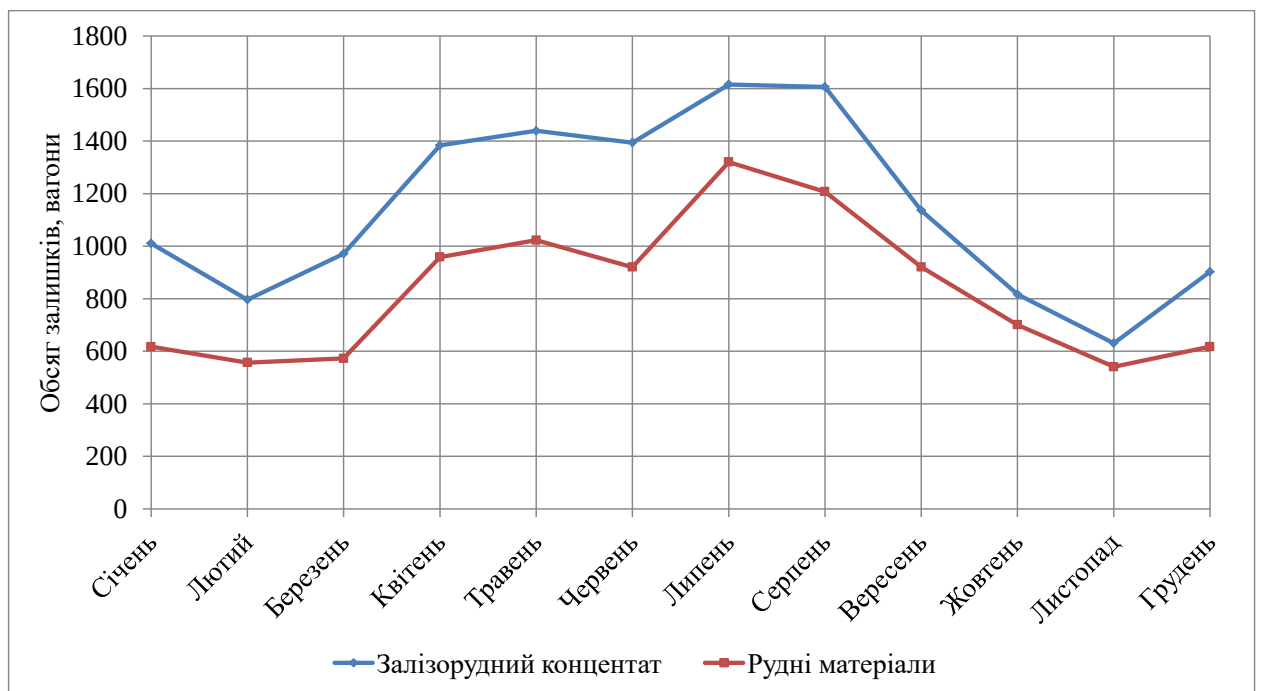


Рисунок 1.3 - Обсяг залишків залізрудного концентрату та рудних матеріалів на початок місяця

Згідно графіка можемо зробити висновки, що найбільші обсяги залишків спостерігаються теплу пору року: в липні та серпні, найменші – в холодні місяці: листопад, грудень, лютий.

1.3 Характеристика Південного району ПАТ «Запоріжсталь»

Південний район включає в себе станції Південна, Аглофабрика та Рудна [3].

Станція Південна, яка є вхідною вантажною станцією комбінату, призначена для обслуговування доменних та агломераційних цехів.

У непарному напрямку до станції Південна прилягають такі перегони:

Південна-СХЧ (Склад холодного чавуну) – одноколіїний, маневровий порядок руху;

Південна-Доменна – одноколіїний, обладнаний напівавтоматичним блокуванням;

Південна-Аглофабрика – одноколіїний, обладнаний напівавтоматичним блокуванням;

Південна-Рудна – одноколіїний, обладнаний напівавтоматичним блокуванням.

У парному напрямку до станції Південна прилягає одноколіїний перегін Південна-Східна, обладнаний напівавтоматичним блокуванням.

Також до парної горловини прилягають колії рудорозморожувального гаража та приймальні бункери Аглофабрики.

До непарної горловини прилягають колії станції Південна ПАТ "Запоріжжесталь".

Усі вантажні фронти Південного району розташовані на станціях Рудна і Аглофабрика.

У парному напрямку до станції Рудна прилягає перегін зі станцією Південна, а в непарному напрямку – перегін Рудна - Підбиральна, одноколіїний, маневровий порядок руху.

До станції Аглофабрика в парному напрямку також прилягає перегін зі станцією Південна, а в непарному напрямку – одноколіїний перегін Аглофабрика - Підбиральна, де встановлено маневровий порядок руху.

Для вимірювання ваги агломерату на станції Аглофабрика використовують ваги з вантажопідйомністю 200 т, розташовані на колії №1а.

Повне екіпірування паркових локомотивів станції Південна відбувається за графіком на екіпірувальному пункті станції Східна. Локомотиви, що працюють на порожняковій стороні станції Рудна, забезпечуються на екіпірувальному пункті станції Підбиральної.

Також, під час екіпірування локомотивів, які зайняті перевезенням агломерату, відводиться підмінний локомотив зі станції Південна.

Усю роботу з поїздами і маневри на станції виконують 6 локомотивів:

- 4 тепловози серії ТЕМ-2;
- 2 тепловози серії ТГМ-4.

У холодну пору року, для обслуговування рудорозморожувального гаража, додається ще один локомотив серії ТЕМ-2.

На Південному районі здійснюють такі операції:

- приймання та розформування поїздів зі станцій Східна, Доменна, Рудна, Аглофабрика, СГЧ, Південна ПрАТ «Запоріжжкокс»;
- відправлення порожніх вагонів для навантаження чавуном на СХЧ;
- накопичення, формування та відправлення поїздів на станції Східна, Доменна, Рудна, Аглофабрика, СХЧ, Південна ПрАТ «Запоріжжкокс»;
- переміщення і прибирання вагонів УЗ і власного парку в зоні навантаження-вивантаження;
- зважування агломерату.

Загальне керівництво прийманням, відправленням поїздів і маневром роботою виконує маневровий диспетчер Південного району.

1.4 Характеристика вантажних фронтів обслуговування вагонів із сировиною

Досліджувані вантажопотоки сировини можуть розвантажуватися на одній або декількох станціях. Ці вантажі надходять до таких фронтів вивантаження: станція Рудна, станція Аглофабрика, та станція Вугільна.

До Рудного двору надходять основні вантажопотоки: руда, вапняк, концентрат залізорудний, торф та інші.

На Аглофабриці вивантажуються такі вантажі: вапняк, окатиші, вугілля, кокс та інші.

До станції Вугільна (Базисний склад вугілля) надходять: вугілля, кокс, вапняк.

В таблиці 1.4 наведені основні характеристики фронтів вивантаження.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики вантажних фронтів [4]

Найменування фронтів - навантаження та вивантаження	Рід вантажу	Розмір одно- часної подачі до фронтів	Одно- часний фронт	Найменування механізмів	Технічна характеристика механізмів	Строк виконання вантажної операції (год.)	Тип рухомого складу
1	2	3	4	5	6	7	8
Аглоцех							
колія № 6	Вугілля штиб	2	2	Естакада, відкриття люків з двох боків	Естакада на два боки	0.43+1 0%	н/п
колія № 5	Коксовий дріб'язок	2 або 3 хп (МП)	2 або 3 хп (МП)	Естакада, відкриття люків з двох боків	Естакада на два боки	0.43+1 0%	н/п

Кінець таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Бункера Доменого цеху							
колія №2-б	котуни	9	1	Бункера на два боки, вивантаження з підтягуванням		0.07	
колія №4-б	Вапняк для флюсування, доломіт	9	1	Бункера на два боки, вивантаження з підтягуванням		0.07	
колія №2-б	Кокс	9	1	Бункера на два боки, вивантаження з підтягуванням		0.43	
Колія №4-б	Зачищення вагонів після вивантаження на вагоноперекидачу	7	7			0.23	
Рудний двір							
Колія № 3	вапно, аглоруда, руда марганцева, кокс, концентрат, шлаки	15	1	Вагоноперекидач		0.07	

На комбінаті «Запоріжсталь» для ефективного вивантаження залізорудного концентрату та рудних матеріалів використовуються вагоноперекидачі (рис. 1.4). Такий процес вивантаження виглядає наступним чином:

Вагон із залізорудним концентратом прибуває на територію комбінату. Важливо, щоб вагон був правильно розміщений для подальшого вивантаження.

Вагоноперекидач розгортається та позиціонується так, щоб його було зручно підїхати до вагона з концентратом.

Перед вивантаженням вагоноперекидач активує системи безпеки, щоб уникнути можливих небезпек та аварій під час процесу розвороту.

Вагоноперекидач починає розворот вагона, і сипучий матеріал (залізорудний концентрат) вивантажується на приймальні технологічні пристрої або

конвеєри для подальшої обробки.

Під час вивантаження може проводитися контроль якості сипучого матеріалу для забезпечення відповідності стандартам якості та вимогам виробництва.

Після вивантаження залізорудний концентрат може проходити додаткову обробку на комбінаті та транспортуватися до відповідних виробничих одиниць для використання в процесі виробництва чавуну та сталі.

Відходи від процесу обробки також можуть бути використані на металургійному комбінаті, де може бути важливо забезпечити екологічно чистий процес виробництва.

Використання вагоноперекидачів дозволяє оптимізувати процес вивантаження сипучих матеріалів, знижуючи час та вартість виробництва та забезпечуючи безпеку під час маніпуляцій із вагонами.



Рисунок 1.4 - Процес вивантаження напіввагонів вагоноперекидачем

1.5 Основні принципи оперативного планування роботи залізничного транспорту

Оперативне планування виступає ключовим інструментом для забезпечення регулярності роботи залізничного транспорту на металургійному підприємстві. Основною метою оперативного планування є визначення таких параметрів на планований період [5]:

- кількості та часу відправлення поїздів з вантажних станцій;
- обсягів руху на всіх ділянках залізниці та передачі поїздів та вагонів на стикових пунктах;
- потреб у локомотивах та локомотивних бригадах для забезпечення встановлених розмірів руху;
- потреб у пересиланні локомотивів та локомотивних бригад в межах діляниць їх обігу;
- обсягів навантаження взагалі, залежно від видів вантажів, типів рухомого складу та його приналежності та власності;
- вивантаження взагалі і за видом рухомого складу, його приналежністю і власністю;
- завдань на розвезення місцевого вантажу і порожніх вагонів під навантаження;
- показників використання рухомого складу.

Система оперативного та поточного планування функціонування вантажної станції включає розробку змінних і добових планів, а також оперативних завдань диспетчерського центру або диспетчерської служби перевезень на наступні 2-3 години. Ці завдання та плани передаються бригадам маневрових локомотивів, працівникам Станційно-технічного центру, вантажному району та іншим підрозділам станції.

План вантажних операцій на добу визначається диспетчером ночі та передається не пізніше 17 години напередодні планованої доби. Цей план

включає завдання з навантаження та вивантаження, перевалки, сортування вантажів із виділенням найважливіших вантажів і вантажовідправників, подачу й забирання місцевих вагонів, загальну кількість вантажних поїздів для прийняття та відправлення, а також завдання з відправлення порожніх вагонів. Добовий план включає основні якісні показники роботи станції, такі як простій місцевих вагонів на станції та під час однієї вантажної операції.

Основою оперативного планування є план роботи на зміну, який формується на основі добових та змінних завдань, а також інформації про ситуацію на станції перед початком планованого періоду, а також плану перевезень та норм технологічного процесу з обробки поїздів, вагонів та вантажів. Змінне завдання з диспетчерської служби залізничних перевезень передається на станцію не пізніше 1 години до початку наступної зміни. План роботи на зміну розробляє диспетчерський службовець з урахуванням ситуації на станції до початку планованого періоду та завдань, які містить план роботи на добу.

У змінному плані вказуються завдання з переробки вантажів на складах вантажного району та під'їзних коліях, кількість поїздів, які підлягають розформуванню і формуванню, кількість вагонів, які повинні бути здані на під'їзні колії і прийняті від них, спеціальні завдання з промивання, обладнання вагонів і т.д.

Щоденне завдання формується враховуючи наявність та підхід вагонів для кожної станції з урахуванням технологічних норм на подачу вагонів на вантажні пункти.

Добове завдання містить завдання на вивантаження, навантаження та сортування вантажів, вивезення та завезення вантажів, а також завдання за загальним обсягом вантажопереробки, включаючи механізовану та комплексно-механізовану вантажопереробку, і технологічний час перебування вагонів під вантажними операціями.

Завдання передаються виконавцям начальником виробничої ділянки (змінним майстром), який організовує їх виконання, раціонально розставляє

робочі бригади та механізми по вантажних пунктах.

Для ефективного управління підрозділом та виробничими дільницями впроваджується диспетчерське керівництво з розробки змінно-добового графіку роботи підрозділу та виробничих дільниць. У графіку відображаються підхід та прибуття вантажів для вивантаження та сортування, розстановка вагонів по вантажних пунктах, наявність та зайнятість механізмів та робочої сили, а також переробка вагонів на кожному вантажному пункті.

1.6 Постановка завдань та обґрунтування необхідності дослідження

Існуюча інформаційно-диспетчерська система управління залізничним транспортом призначена для обліку вагонів загальномережевого і місцевого парку в комплексі інформаційної бази управління залізничними перевезеннями.

Система дає можливість вести облік технологічних операцій з вагонами в підрозділах підприємства й організувати процес обліку та контролю проходження вагонами роздільних пунктів комбінату. Значною перевагою системи перед аналогами є візуалізація місцезнаходження вагонів.

Дана система значно спростила і прискорила роботу всіх підрозділів, причетних до формування та організації руху транспортних потоків на підприємстві.

Очевидно, що в перспективі система має використовуватися також як система підтримки ухвалення рішень для персоналу підприємства, що здійснює планування поставок сировини, матеріалів і палива.

Для цього шляхом статистичного аналізу даних про вантажну роботу за минулі періоди можна одержати необхідні залежності та розподіли випадкових величин надходження, тривалості виконання вантажних та інших технологічних операцій з вагонами.

Використовуючи імітаційну модель роботи з даними параметрами можна виконати прогноз тривалості простою вагонів і використання інших ресурсів (локомотивів, навантажувально-розвантажувальних засобів тощо) за різних варіантів організації поставок. Створення повноцінної моделі високого рівня деталізації потребуватиме досить великих витрат часу, тому на даному етапі досліджень необхідно визначити найбільш підходяще програмне забезпечення для її реалізації та оцінити можливу ефективність впровадження.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Проведення аналізу даних підприємства щодо середньодобових надходжень та залишків вагонів із сировиною

Для реалізації дослідження в умовах оперативного управління необхідно проаналізувати вантажопотоки за добу. На основі отриманих вихідних даних підприємства ПАТ «Запоріжсталь» (табл. 1.1) визначаємо середньодобові надходження вантажів в для кожного місяця (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Середньодобові надходження вантажів на комбінат

Місяць	Середньодобове надходження вантажу, ваг.						
	Залізорудний концентрат	Рудні матеріали	Кам'яне вугілля	Вапняк	Кокс	Окатиші	Інші
Січень	121	83	24	63	55	71	10
Лютий	145	63	46	69	64	76	8
Березень	132	104	21	75	58	78	10
Квітень	123	93	31	53	59	63	3
Травень	121	91	28	50	51	32	3
Червень	136	98	36	53	40	29	6
Липень	120	98	17	47	63	23	9
Серпень	106	93	32	43	66	69	8
Вересень	105	83	47	51	63	60	10
Жовтень	119	89	26	76	67	72	3
Листопад	130	87	16	49	59	56	9
Грудень	121	93	33	58	58	77	8
Усього	1479	1075	357	687	703	706	87
Середнє	124	90	30	58	59	59	8

На діаграмі (рис. 2.1) наведено середньодобові надходження сипучих вантажів на підприємство. Значення виведено на підставі аналізу фактичних даних комбінату щодо надходжень за кожним місяцем за останній рік.

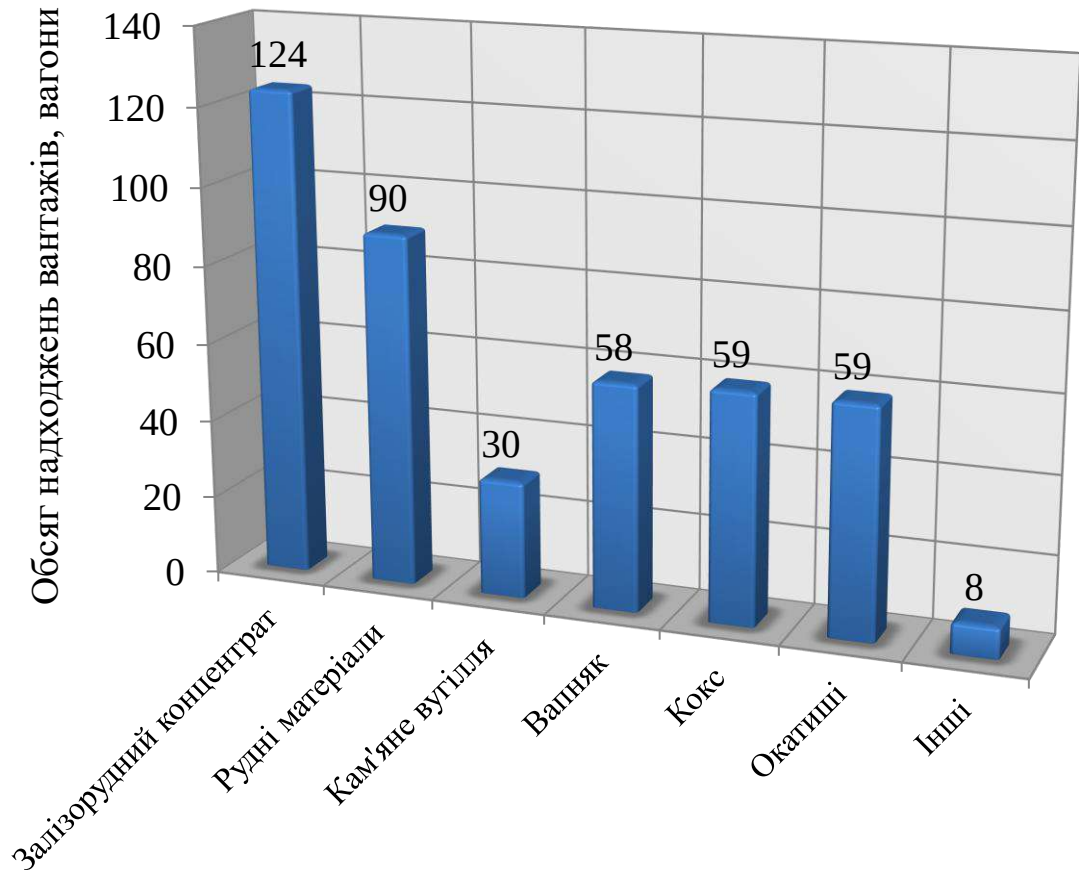


Рисунок 2.1 Середньодобові надходження сипких вантажів на підприємство

Як бачимо, найбільші вантажопотоки - це надходження залізорудного концентрату та рудних матеріалів. Обслуговування вагонів з цими вантажами буде займати значну частку від загальної тривалості всіх вантажно-розвантажувальних операцій.

Тому в рамках даного дослідження планується зробити основний акцент саме на плануванні надходження і вантажопереробки залізорудного концентрату.

Для побудови достовірної моделі потрібно встановити фактичні інтер-

вали надходження різних видів вантажів на комбінат.

Для кожного виду вантажу на основі даних підприємства було виконано статистичний аналіз [6] і розраховані основні характеристики (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Статистичний аналіз інтервалів надходження вантажів на ПАТ «Запоріжсталь»

Вантаж	Статистичні характеристики				
	Кількість спостережень	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартне відхилення
Залізорудний концентрат	121	9,0	2,0	23,83	5,98
Рудні матеріали	101	10,6	2,0	28,08	6,69
Вугілля	135	15,8	2,0	51,17	11,59
Вапняк	103	8,5	2,0	25,42	6,05
Кокс	108	9,0	2,0	28,50	6,78
Окатиші	68	19,8	2,0	60,33	15,07
Інші	113	21,9	2,0	62,67	14,55

Окрім планового обсягу надходження вантажів на підприємство, зазвичай присутні ще залишки необроблених вагонів з попередньої доби. Тому при оперативному плануванні роботи важливо враховувати потребу додаткового часу на їх обслуговування.

Для аналізу було відібрано сім діб. Нижче в таблиці 2.3 наведені дані підприємства щодо фактичних залишків необслугованих вагонів з різними вантажами на початок доби.

Таблиця 2.3 – Фактичні залишки необслугованих вагонів з різними вантажами на початок доби.

Вантаж	Номер доби						
	1	2	3	4	5	6	7
Залізорудний концентрат	101	89	95	90	100	82	94
Рудні матеріали	99	95	102	88	91	94	103
Вугілля	42	38	39	43	37	41	40
Вапняк	112	115	122	125	120	129	117
Кокс	55	60	62	51	63	54	54
Окатиші	87	85	79	80	77	81	85
Інші	70	75	64	60	65	66	69

В середньому за добу залишається 555 необслугованих вагонів. З них найбільшу частку становлять залізорудний концентрат, рудні матеріали та вапняк. Середньодобові залишки складають:

Залізорудний концентрат	93 вагони
Рудні матеріали	96 вагонів
Вугілля	40 вагонів
Вапняк	120 вагонів
Кокс	57 вагонів
Окатиші	82 вагони
Інші	67 вагонів

На рисунку 2.2 наведено графік середньодобових залишків необслугованих вагонів з різними видами вантажу.

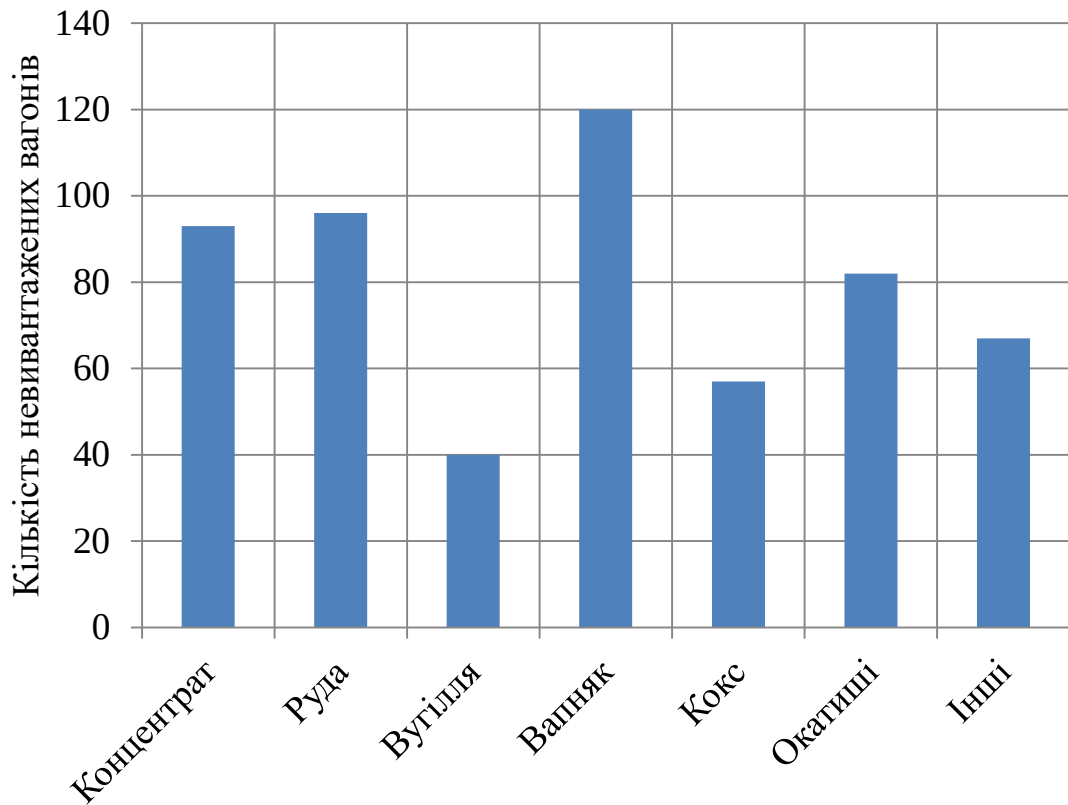


Рисунок 2.2 - Графік середньодобових залишків
необслугованих вагонів

2.2 Побудова логіки моделі

Для оперативного управління надходження сировини на підприємство пропонується розробити імітаційну модель, що відтворює процеси надходження вагонів із сировиною, розподілу їх на вантажні fronti та безпосередньо вивантаження [7].

Розроблена модель дасть змогу прорахувати можливий простій вагонів за заданих обсягів надходження вантажів.

Пропонована модель розрахована на оперативне планування роботи залізничного транспорту на 1-2 доби.

Моделювання надходження вантажів починаємо з елементів типу Source. Ці об'єкти генерують агентів та є відправною точкою моделі процесу.

Так як на підприємство надходить декілька різних типів вантажів, то для кожного для відтворення вантажопотоків будемо використовувати відповідну кількість даних об'єктів.

Окрім того необхідно створити нові типи Агентів, які будуть генеруватися відповідними елементами Source. Для цього з панелі Process Modeling Library перетягуємо на робоче поле елемент Agent Type, і називаємо його `Zalizadorudnyi_koncentrat`. Після цього у властивостях першого елемента типу Source в полі new Agent слід вказати `new Zalizadorudnyi_koncentrat()`. Називаємо безпосередньо сам об'єкт ім'ям `koncentrat`. Таким чином ми створили окремий вантажопотік, що буде відображати надходження залізородного концентрату на підприємство. Аналогічним чином створюємо нових агентів для кожного виду вантажу (рис. 2.3).

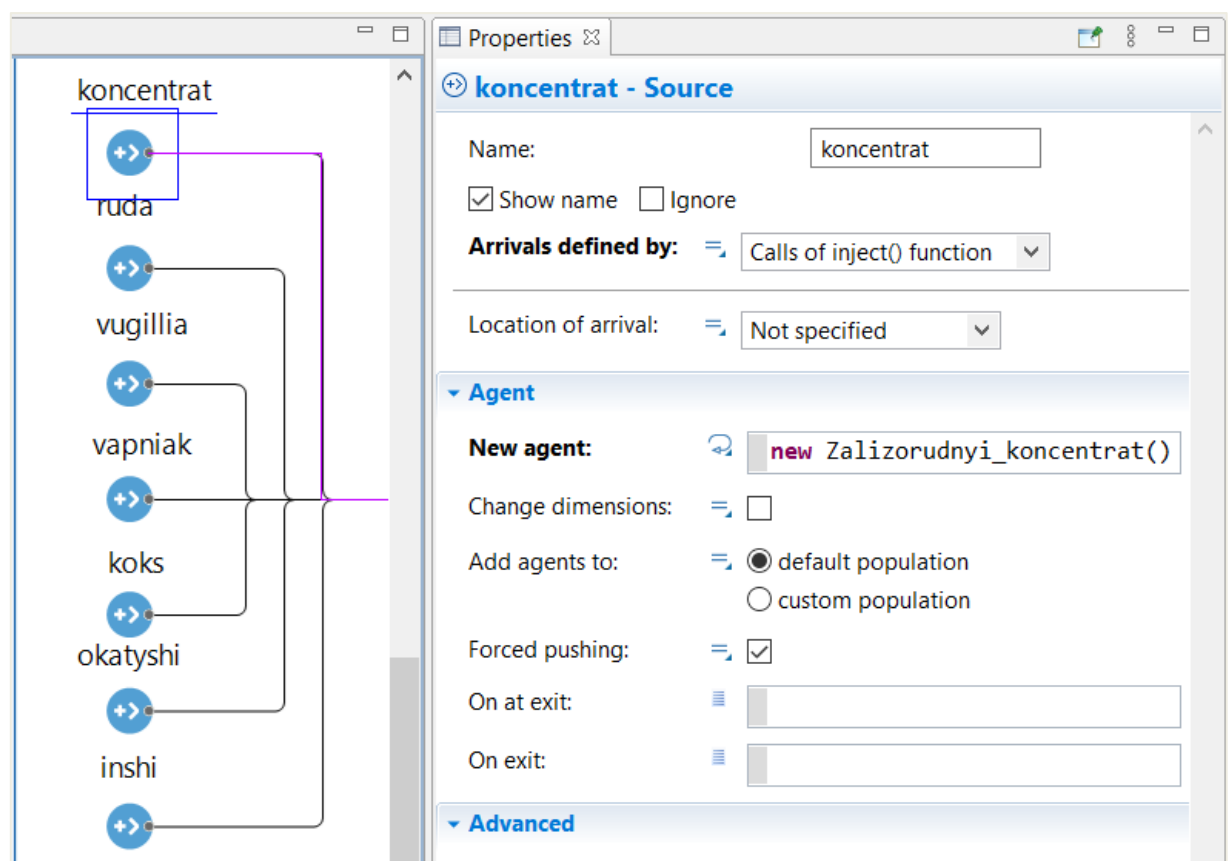


Рисунок 2.3 - Відтворення надходження вантажопотоків

Інтенсивність надходження всіх сипких вантажів, окрім залізорудного концентрату, будемо задавати згідно розрахованих середніх значень інтервалів надходжень. Для цього в об'єктах типу Source для кожного вантажу в полі Interarrival time вказуємо інтервали надходження в годинах.

Надходження залізорудного концентрату відбувається за допомогою спеціального об'єкту типу event – події. Ці об'єкти дозволяють створювати потрібну кількість заявок у визначений час.

Так як в рамках експерименту планується дві партії надходжень концентрату, створюємо дві події, які будуть імітувати цей процес: Koncentrat_1 та Koncentrat_2. У їх властивостях обираємо пункт Use calendar dates (рис. 2.4). Таким чином це дозволить встановлювати потрібний час надходжень певної партії для кожного експерименту.

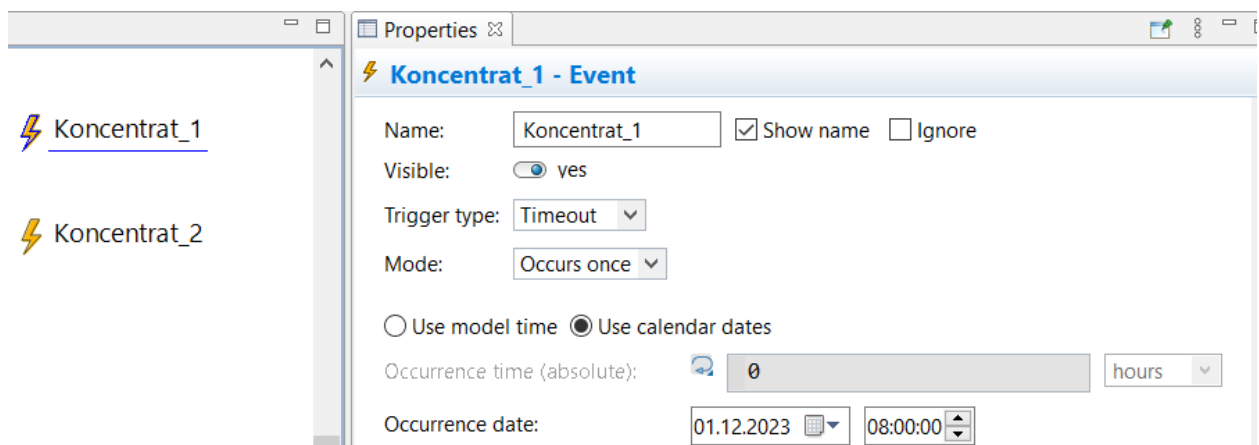


Рисунок 2.4 - Реалізація встановлення часу надходження залізорудного концентрату

Окрім цих потоків вантажів маємо врахувати залишки необроблених вагонів з попередньої доби. Обсяги залишків задаються в головному класі Main у полі On startup за допомогою функції inject(). Ця функція створюватиме потрібну кількість заявок певного виду вантажу перед початком роботи моделі.

Код буде виглядати наступним чином: спочатку вказуємо назву об'єкту source, який має створити задану кількість агентів, після цього через крапку прописуємо функцію inject (). В дужках функції, як аргумент вказуємо середні залишки певного вантажу на початок доби:

```

koncentrat.inject(93);
ruda.inject (96);
vugillia.inject(40);
vapniak.inject(120);
koks.inject(57);
okatyshi.inject(82);
inshi.inject(67).

```

Після надходження на підприємство усі вагони з вантажем потрапляють в загальну чергу queue, де чекають захоплення ресурсу – локомотиву.

Об'єкт queue накопичує агенти, які на даний момент не можуть обслуговуватися через нестачу вільних ресурсів. У властивостях об'єкту встановлюємо максимальну місткість агентів.

Всі вантажі треба розподілити на три основні фронти вивантаження: рудний двір, аглофабрику та базисний склад вугілля.

Для розподілу використовуємо об'єкт selectOutputIn і набір об'єктів selectOutputOut. Ці типи елементів дозволяють створити один квазі-блок SelectOutput з необхідною кількістю виходів.

Створюємо його шляхом додавання одного SelectOutputIn і семи блоків SelectOutputOut, кожен з яких відповідатиме певному виду вантажу. Ці блоки не повинні бути з'єднані між собою графічно.

Тепер маємо задати логіку сортування агентів.

Для встановлення умови розподілу створюємо функцію select_type. Встановлюємо в її властивостях Returns value (Повертає значення). Тип – Other, і вказуємо selectOutputOut (рис. 2.5).

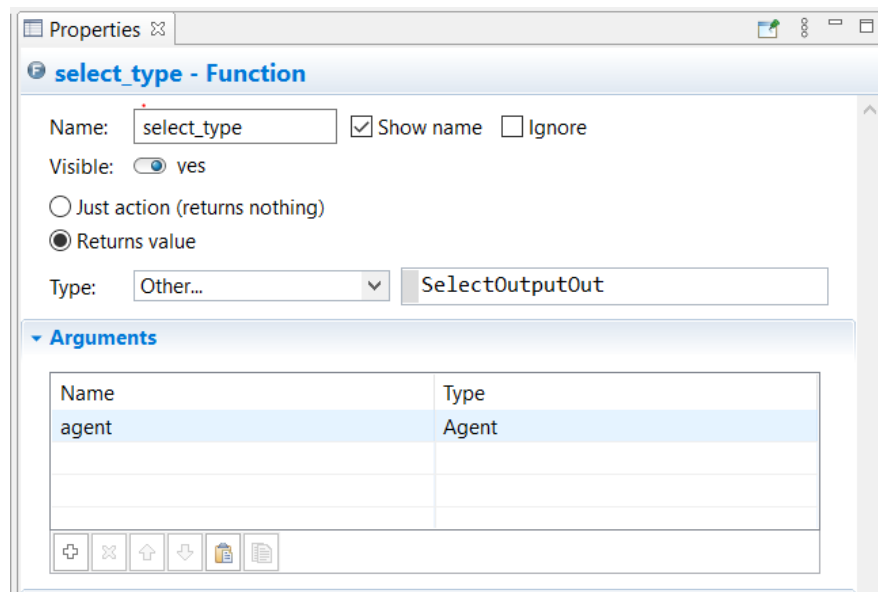


Рисунок 2.5 - Встановлення властивостей функції select_type

В полі аргументів створюємо нову змінну «agent» що відповідає типу Agent. Після чого прописуємо код функції використовуючи умовний оператор If... else:

```
if (agent instanceof Zalizorudnyi_koncentrat) return selectOutputOut;
if (agent instanceof Rudni_materialy) return selectOutputOut1;
if (agent instanceof Vugillia) return selectOutputOut2;
if (agent instanceof Vapniak) return selectOutputOut3;
if (agent instanceof Koks) return selectOutputOut4;
if (agent instanceof Okatyshi) return selectOutputOut5;
else return selectOutputOut6;
```

Таким чином, кожний агент що надходитиме до selectOutputIn буде перевірятися на приналежність до певного класу агентів (тобто виду вантажу). І в залежності від встановленого типу надсилатиметься до свого об'єкту типу selectOutputOut.

У властивостях об'єкту sort (рис. 2.6) обираємо логіку вибору виходу – Явно. Та вказуємо у полі блок selectOutputOut назву створеної функції select_type та в дужках вказуємо її змінну agent.

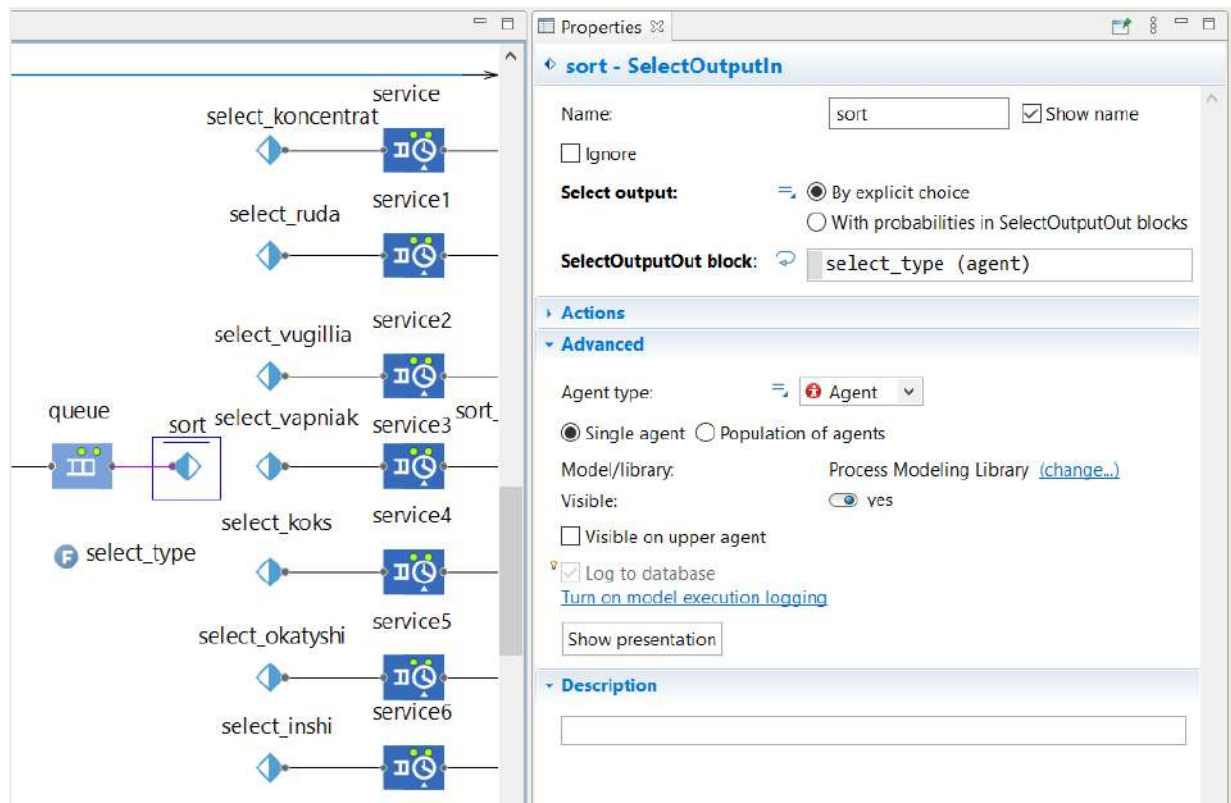


Рисунок 2.6 - Властивості об'єкту типу selectOutputIn

Налаштовуємо об'єкти типу selectOutputOut. Кожному з них даємо ім'я відповідно до вантажопотоку, який він обслуговує.

В об'єкті select_koncentrat вибираємо тип агентів Zalizadorudnyi_koncentrat та вказуємо об'єкт SelectOutputIn – sort (рис 2.7). За тим же принципом налаштовуємо роботу всіх блоків цього типу.

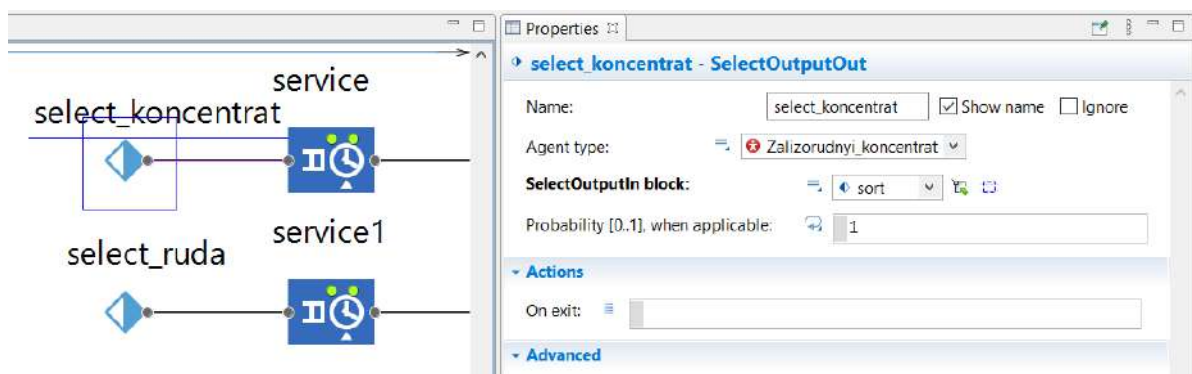


Рисунок 2.7 - Налаштування властивостей елементу типу selectOutputOut

Наступним кроком треба задати логіку роботи ресурсів, які будуть обслуговувати заявки. Ресурсами в моделі виступають локомотиви. Для цього створюємо новий клас Resource Type і надаємо йому ім'я locomotyv.

Відтворення ресурсів моделі реалізує об'єкт resourcePool (рис. 2.8). У його властивостях вказуємо кількість використовуваних ресурсів – 3 локомотиви. Та в полі New resource unit вказуємо новий клас locomotyv.

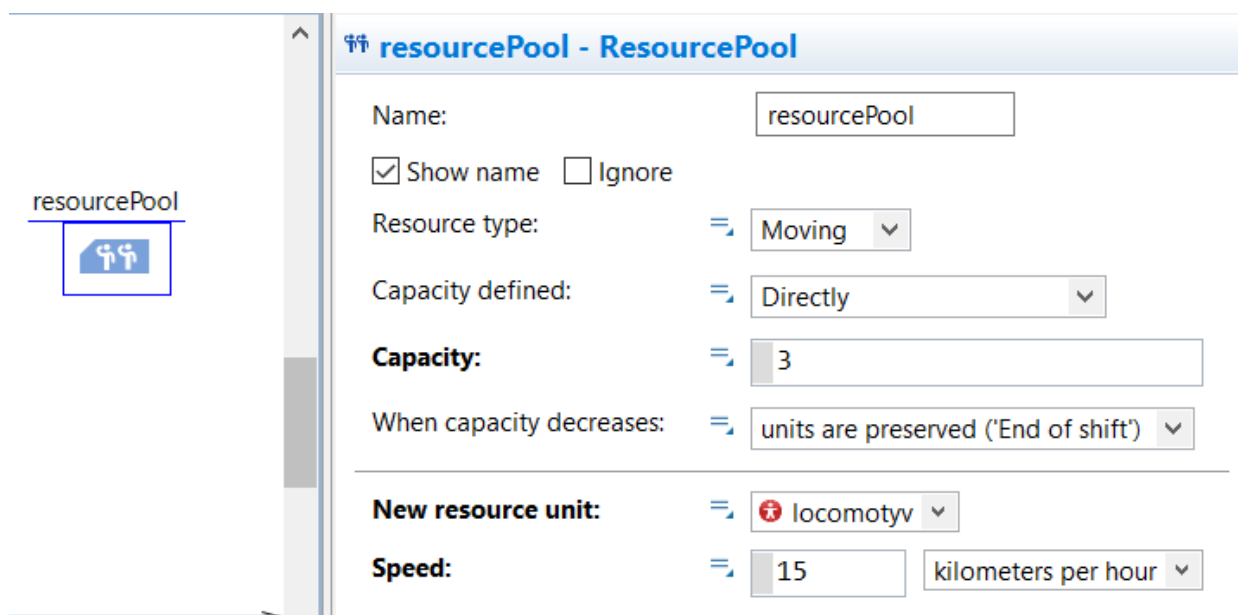


Рисунок 2.8 - Створення ресурсів моделі – локомотивів

Далі в кожному ланцюгу обробки заявок розташовуємо елементи типу service. Ці об'єкти захоплюють задану кількість одиниць ресурсів, затримують агента і відпускають захоплені одиниці (рис. 2.9). У властивостях елементів service вказуємо об'єкт, ресурси якого мають використовуватися – resourcePool, та визначаємо час тривалості захоплення ресурсу – 15 хв. Також вказуємо кількість одиниць ресурсів, які має захоплювати агент – 1.

Аналогічні дії виконуємо для кожної гілки потоку агентів. Таким чином, Для обслуговування вагонів з усіма видами вантажу будуть використовуватися однакові ресурси.

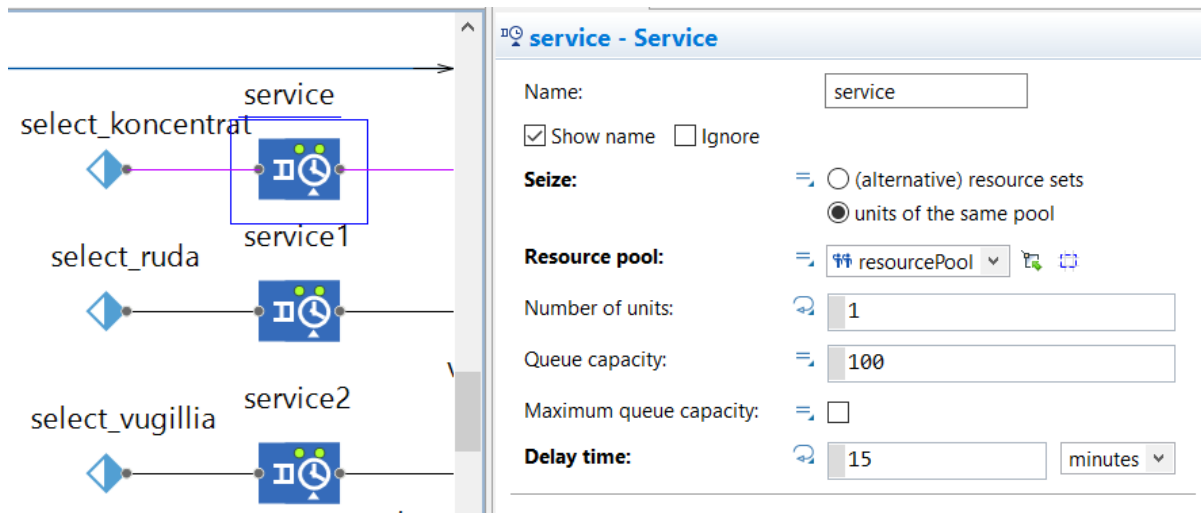


Рисунок 2.9 - Реалізація захоплення ресурсів агентами

Наступним етапом треба розподілити вагони на потрібні фронти вивантаження таким чином:

- залізорудний концентрат і руда – повністю відправляється на Рудний двір.
- вугілля - повністю на базисний склад вугілля (БСВ).
- вапняк розподіляється у такому співвідношенні: Рудний двір – 36%, Базисний склад вугілля – 62% і Аглофабрика – 2%.
- майже весь обсяг коксу направляється на Аглофабрику (98%), і 2% - на БСВ. Також на Аглофабриці вивантажуються і окатиші.

Гілки, за якими рухаються вантажопотоки залізорудного концентрату, руди, вугілля та окатишів можемо направити одразу до відповідних фронтів вивантаження.

Розподіл вагонів з вапняком реалізуємо аналогічно із вищенаведеним сортування вантажів за фронтами вивантаження. Для цього використовуємо об'єкт типу `SelectOutputIn`, який приєднуємо до ланцюга потоку вапняку і називаємо його `sort_varniak` (рис. 2.10). Далі створюємо три вихідні об'єкти `selectOutputOut`, кожен з яких буде відправляти частку вагонів з вапняком до визначеного фронту вивантаження.

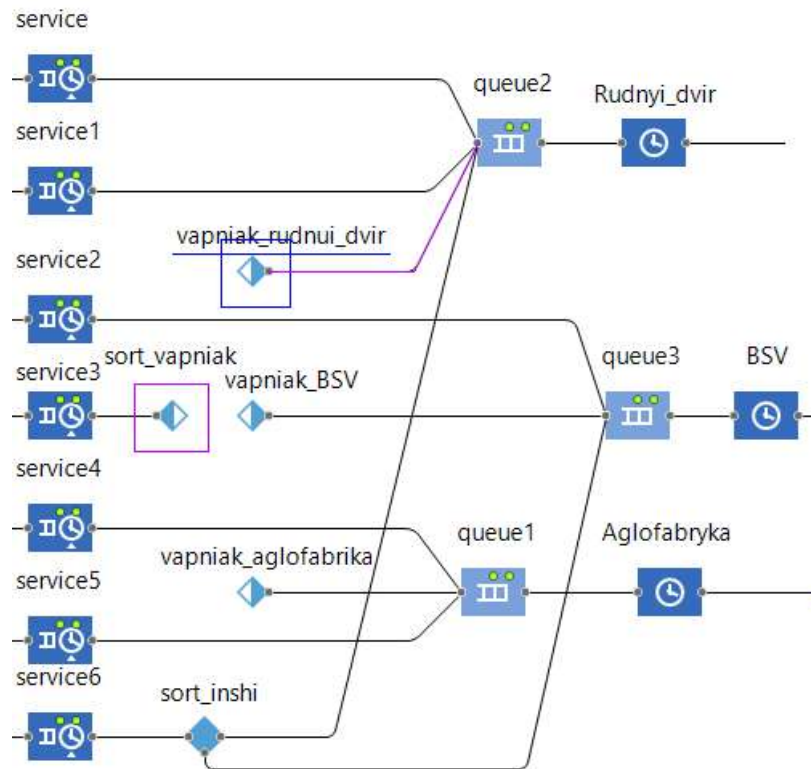


Рисунок 2.10 - Реалізація сортування вантажопотоку вапняку за фронтами вивантаження

Після цього кожному з об'єктів `selectOutputOut` встановлюємо ймовірність надходження вапняку на фронт вивантаження, за який він відповідає. Для Рудного двору – 0,36, Базисного складу вугілля – 0,62 та Аглофабрики – 0,02. А також вказуємо у властивостях в полі `SelectOutputIn` вихідний порт `sort_vapniak` (рис. 2.11)

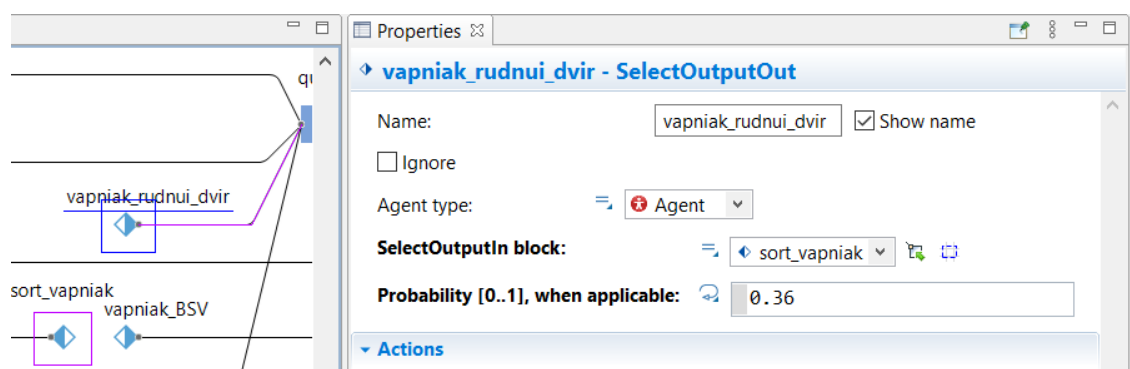


Рисунок 2.11 - Встановлення умов направлення вапняку на фронт вивантаження «рудний двір»

Після розподілу вантажів кожен з вагон-заявка потрапляє в чергу Queue на свій вантажний фронт.

Так як на фронт надходять різні вантажі, тривалість вивантаження задається змінною, яка буде встановлювати свій час для кожного виду вантажу. Для кожної змінної встановлюємо тип double (рис.2.12).

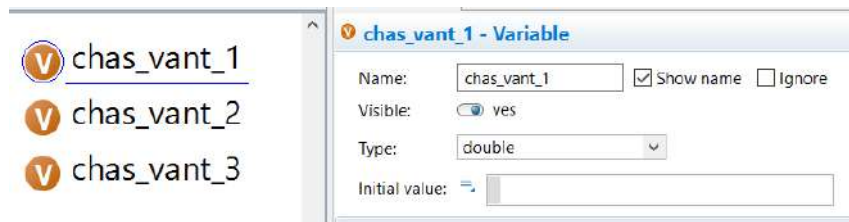


Рисунок 2.12 - Встановлення властивостей змінних тривалості вивантаження

Присвоюємо створені змінні наступним значенням:

- chas_vant_1 – тривалість вивантаження на БСВ;
- chas_vant_2 - тривалість вивантаження на Рудному дворі;
- chas_vant_2 - тривалість вивантаження на Аглофабриці.

Перед кожним вантажним фронтом створена черга, де накопичуються заявки в очікуванні обслуговування. Саме в цих чергах прописуємо код, який в перевірятиме вид вантажу, що надійшов до черги, і встановлюватиме відповідне значення змінній тривалості вивантаження цього вантажу. На рис. 2.13 наведено приклад реалізації коду в об'єкті черги до Рудного двору:

```

if(agent instanceof Rudni_materialy) chas_vant_2=0.07;
if(agent instanceof Vapniak) chas_vant_2=0.07;
if(agent instanceof Inshi) chas_vant_2=0.07;
if(agent instanceof Zalizorudnyi_koncentrat) chas_vant_2=0.07;

```

Код в об'єкті черги вагонів до БСУ:

```
if(agent instanceof Vapniak) chas_vant_1=0.07;
if(agent instanceof Vugillia) chas_vant_1=0.06;
if(agent instanceof Inshi) chas_vant_1= 0.3;
```

Код в об'єкті черги вагонів до Аглофабрики:

```
if(agent instanceof Koks) chas_vant_3=0.43;
if(agent instanceof Okatyshi) chas_vant_3=0.07;
if(agent instanceof Vapniak) chas_vant_3=0.07;
```

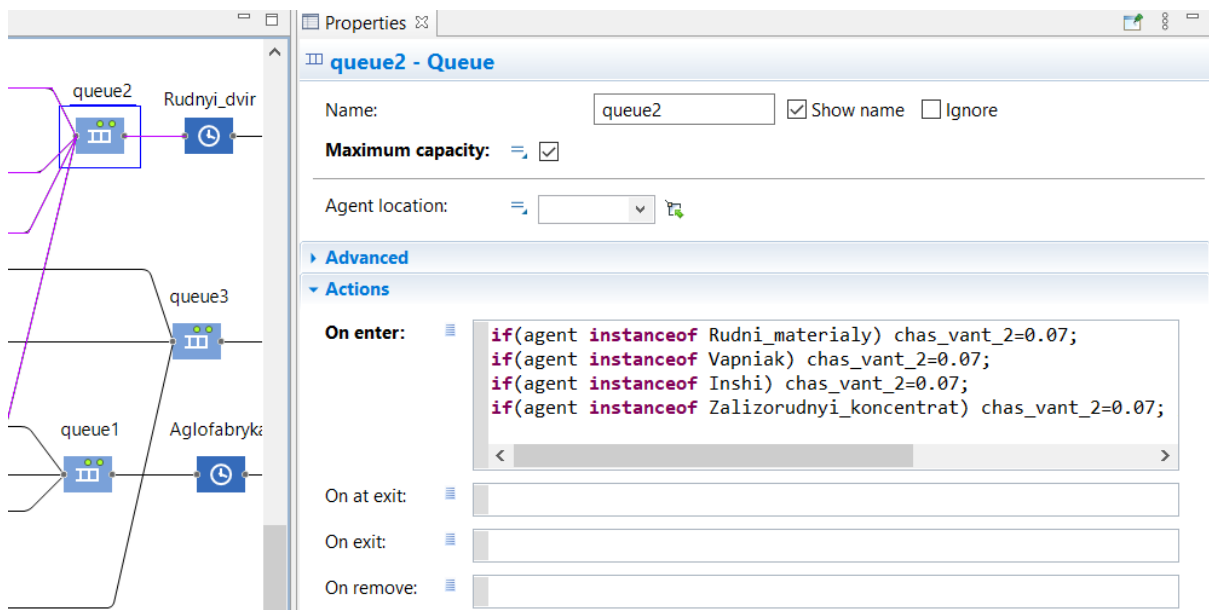


Рисунок 2.13 - Визначення значення змінної тривалості вивантаження в залежності від виду вантажу

Імітація безпосередньо процесу вивантаження реалізується за допомогою об'єктів типу Delay, які затримують агентів на заданий проміжок часу. Час затримки оцінюється динамічно, може бути стохастичним і залежати від агента, а також від будь-яких інших умов.

Кілька агентів (в межах заданого значення Delay) можуть затримуватися одночасно і незалежно один від одного. В даному випадку ці агенти будуть затримувати заявку на певний проміжок часу, що рівний тривалості вивантаження певного виду вантажу.

Наприклад, для Рудного двору в поле Delay time прописуємо змінну chas_vant_2 (рис. 2.14), яка відповідає за тривалість вивантаження на цьому фронті.

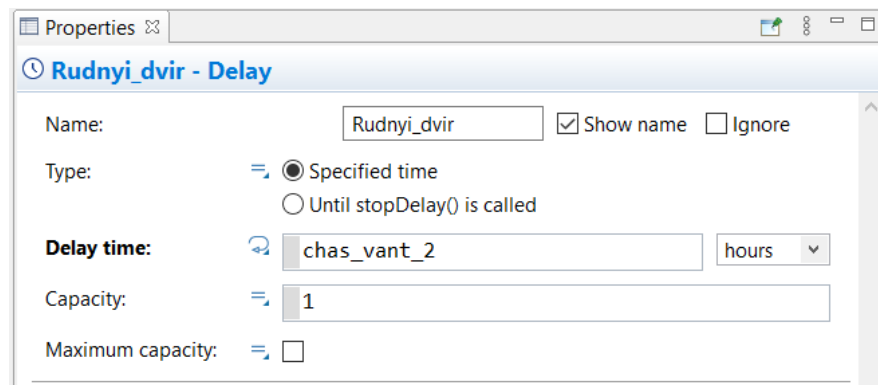


Рисунок 2.14 - Встановлення тривалості вивантаження на Рудному дворі

Для реалізації збору даних щодо обробки вагонів з різними вантажами, після імітації вивантаження їх знову потрібно відсортувати. Для цього скористаємося об'єктами selectOutput (рис. 2.15)

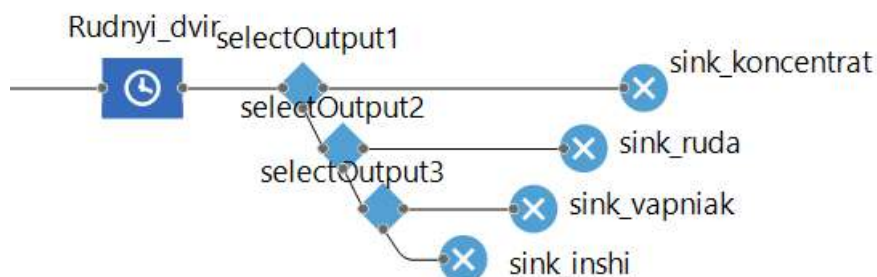


Рисунок 2.15 - Реалізація збору даних щодо обробки вагонів на Рудному дворі

У властивостях об'єкту selectOutput1 вказуємо умову, при виконанні якої агенти відправлятимуться через головний вихідний порт (рис. 2.16):

agent instanceof Zalizadorudnyi_koncentrat

Таким чином, потік агентів залізорудного концентрату відправлятимуться до виходу sink_koncentrat.

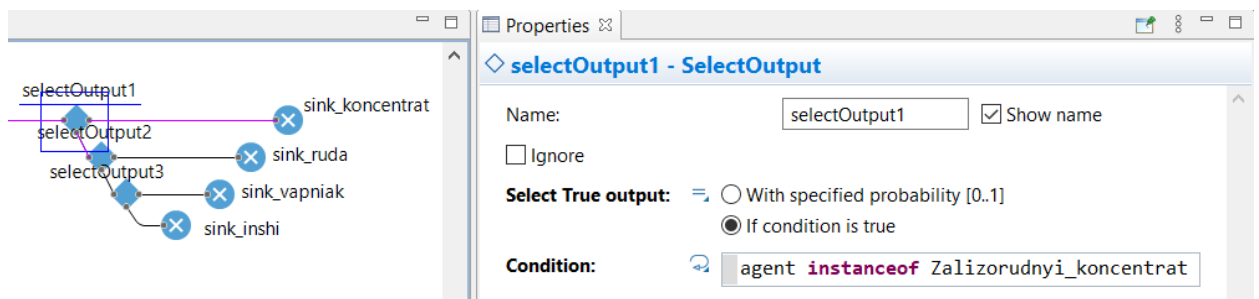


Рисунок 2.16 - Властивості об'єкту selectOutput1

Агенти, що не відповідають цій умові надсилатимуться до наступного об'єкту selectOutput2, де вони перевірятимуться на приналежність до рудних матеріалів:

agent instanceof Rudni_materialy

Залишок агентів пересилається до об'єкту selectOutput3, де проходять перевірку:

agent instanceof Vapniak

Агенти, які не відповідають жодній умові вище наведених об'єктів selectOutput відправляються до виходу sink_inshi.

Аналогічним чином моделюємо роботу інших вантажних фронтів. Для Базисного складу вугілля встановлюємо тривалість вивантаження рівною змінній `chas_vant_1` (рис. 2.17).

Так як на цьому фронті вивантажуються три види вантажу, сортуємо їх, вказавши відповідні умови відбору:

для `selectOutput4`: agent instanceof Vugillia

для `selectOutput5`: agent instanceof Vapniak

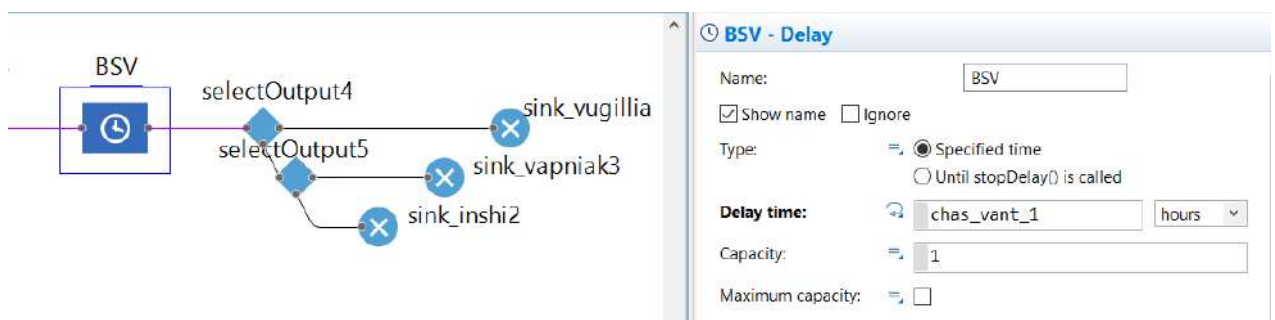


Рисунок 2.17 - Встановлення тривалості вивантаження на Базисному складі вугілля

Для Аглофабрики встановлюємо тривалість вивантаження рівною змінній `chas_vant_3` (рис. 2.18). Та сортуємо вагони вказавши відповідні умови:

для `selectOutput6`: agent instanceof Vapniak

для `selectOutput7`: agent instanceof Koks

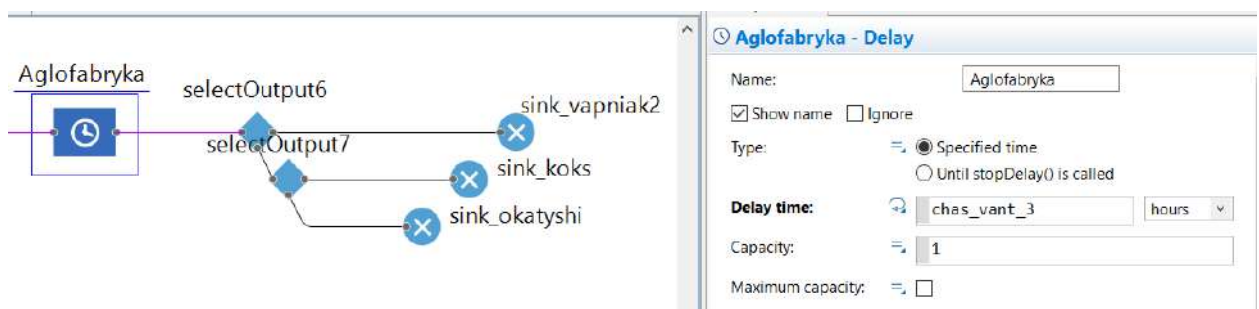


Рисунок 2.18 - Встановлення тривалості вивантаження на Аглофабриці

В результаті отримаємо імітаційну модель, загальний вигляд якої наведено на рисунку 2.19.

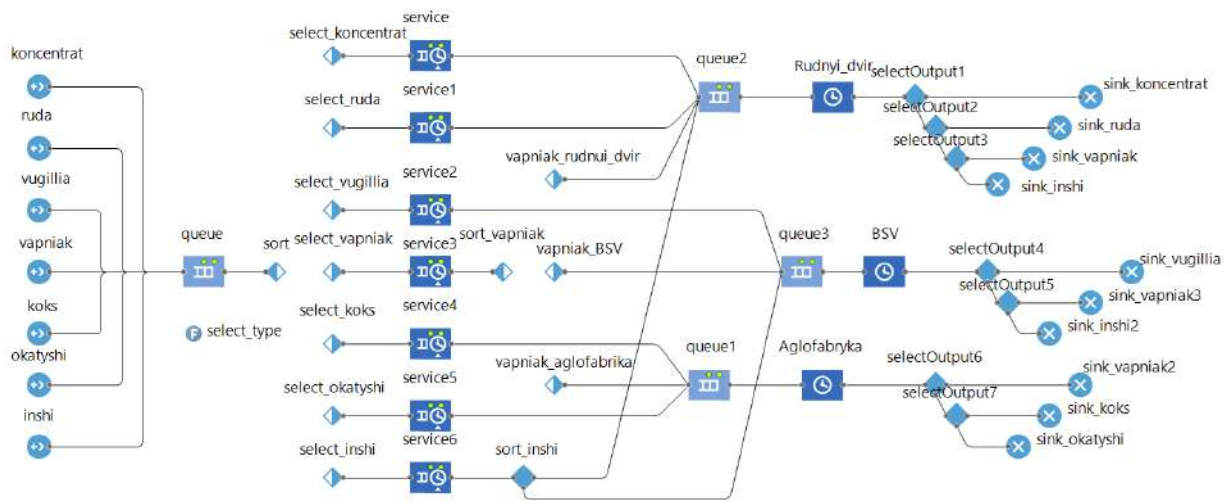


Рисунок 2.19 - Загальний вигляд розробленої моделі

Отже, після відтворення логіки моделі розподілу на фронти та вивантаження вагонів із сировиною, що надійшли на підприємство необхідно реалізувати збір вихідних даних, що дадуть можливість проаналізувати ефективність роботи моделі.

2.3 Вимірювання тривалості простою вагонів в системі

Для фіксації часу протягом якого обробляється один вагон, скористаємось спеціальними об'єктами. TimeMeasureStart, як і TimeMeasureEnd, складається з пари об'єктів, що вимірюють час, який агенти проводять між собою, наприклад, "час у системі", "тривалість перебування" тощо.

Цей об'єкт запам'ятовує час проходження агента. Пізніше, коли агент проходить через один з відповідних TimeMeasureEnd об'єктів, вимірюється

час, проведений агентом між цими двома "маркерними" об'єктами.

Встановлюємо об'єкти TimeMeasureStart на моменті створення заявок в системі одразу після об'єктів типу Source, таким чином буде фіксуватися час надходження кожного виду вантажу окремо.

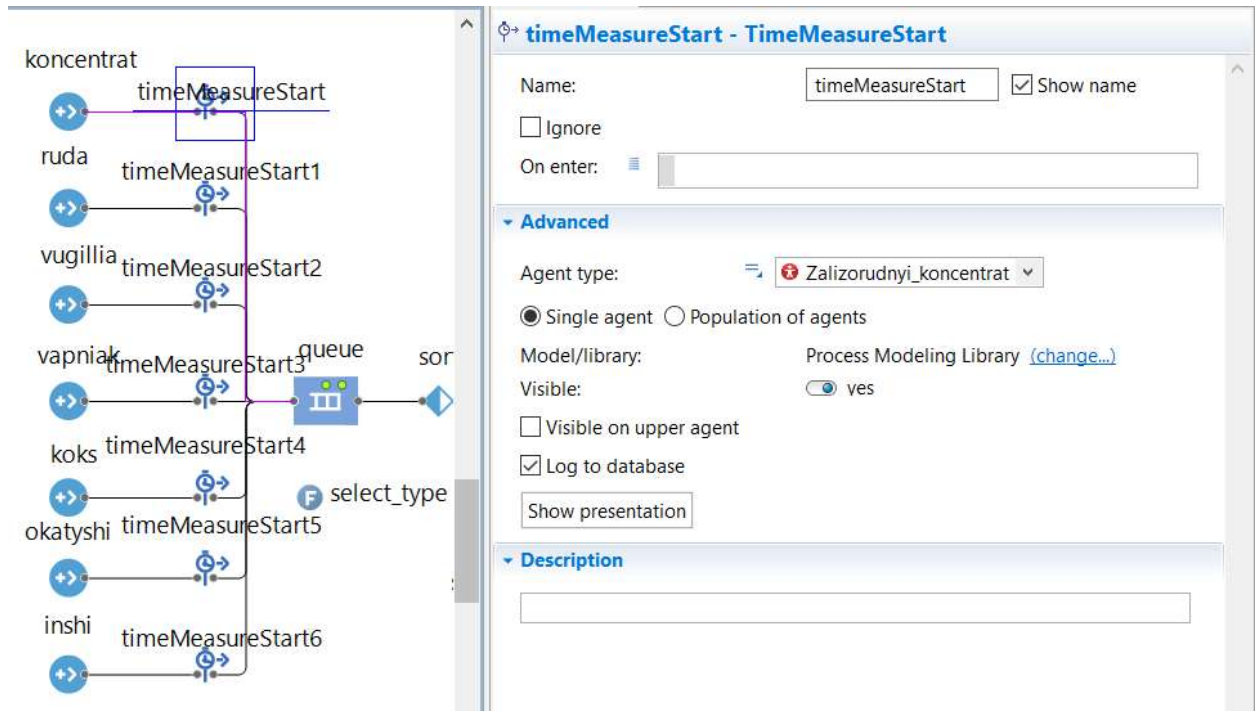


Рисунок 2.20 - Фіксація часу надходження заявки-вагона в систему

Об'єкти TimeMeasureEnd фіксуватимуть завершення обробки вагону, тому їх розташовуємо перед кожним об'єктом типу Sink (рис. 2.21). Таким чином можемо відстежувати не тільки тривалість простою вагонів з певним видом вантажу, а й тривалість обробки вагонів окремо для кожного фронту вивантаження.

У властивостях об'єкту обов'язково треба вказати відповідний об'єкт TimeMeasureStart, який фіксував початковий час обробки потрібного виду агентів.

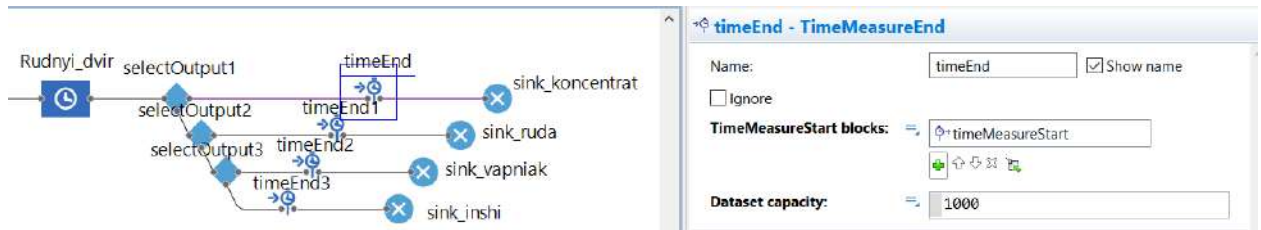


Рисунок 2.21 – Фіксація часу завершення обробки агента-вагона
в системі

Після цього можемо додати об'єкт Гістограма для візуальної оцінки зібраних даних. В поле Histogram робимо посилання на той об'єкту типу TimeMeasureEnd дані якого хочемо відобразити і прописуємо, в якому вигляді вони повинні зображуватися.

Вказуємо функцію distribution, таким чином на гістограма буде показувати розподіл випадкової величини зібраних показників. На рисунку 2.22 наведений приклад створення гістограми для аналізу тривалості часу простою вагонів із залізрудним концентратом.

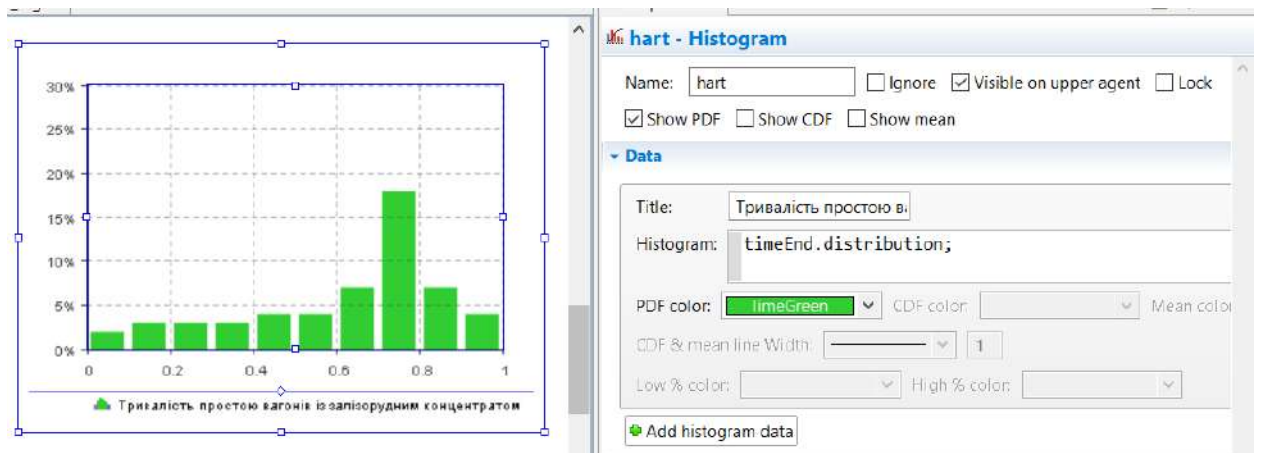


Рисунок 2.22 – Гістограма тривалості простою вагонів із залізрудним
концентратом

На рис. 2.23 наведений фрагмент збору статистичних даних щодо тривалості обслуговування вагонів із залізрудним концентратом в умовах роботи моделі.

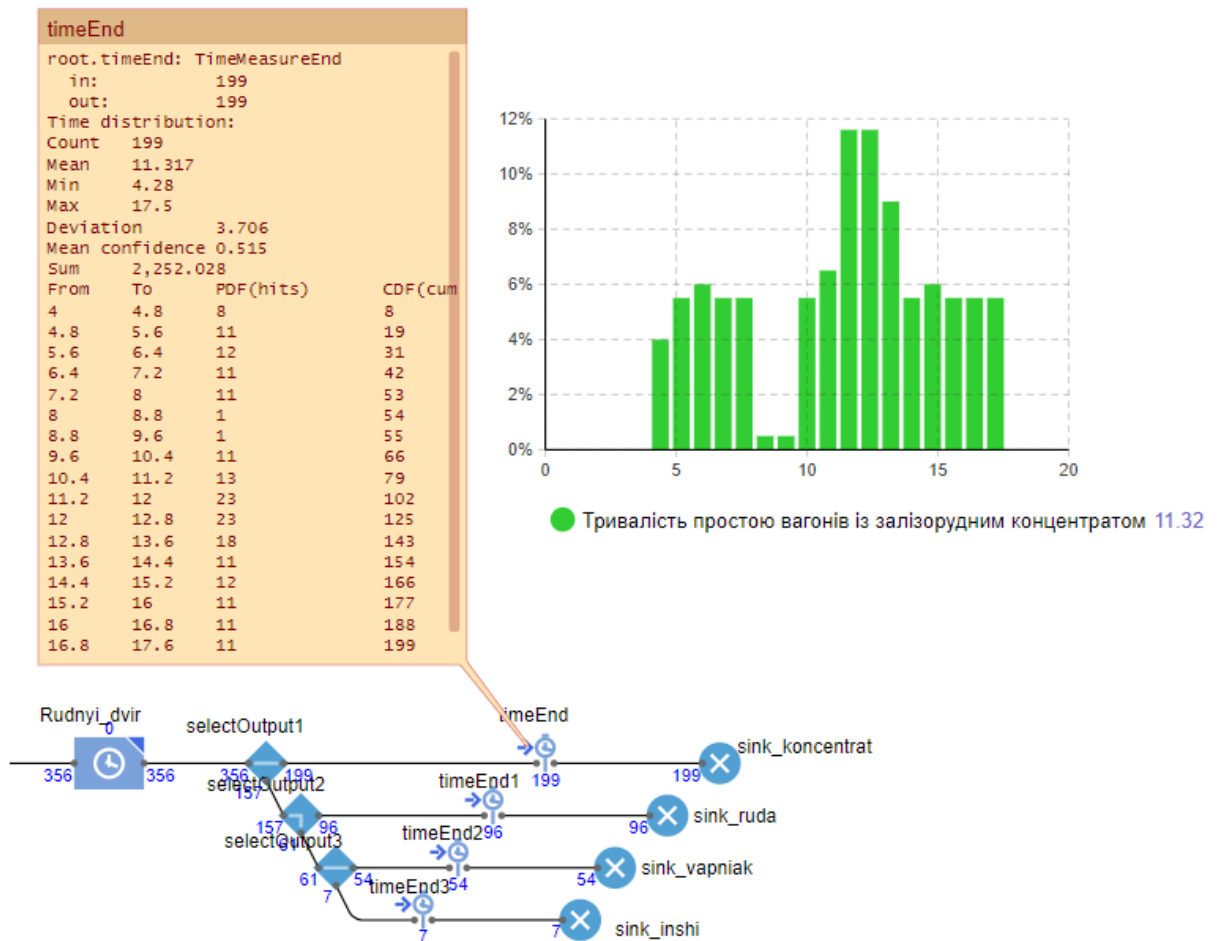
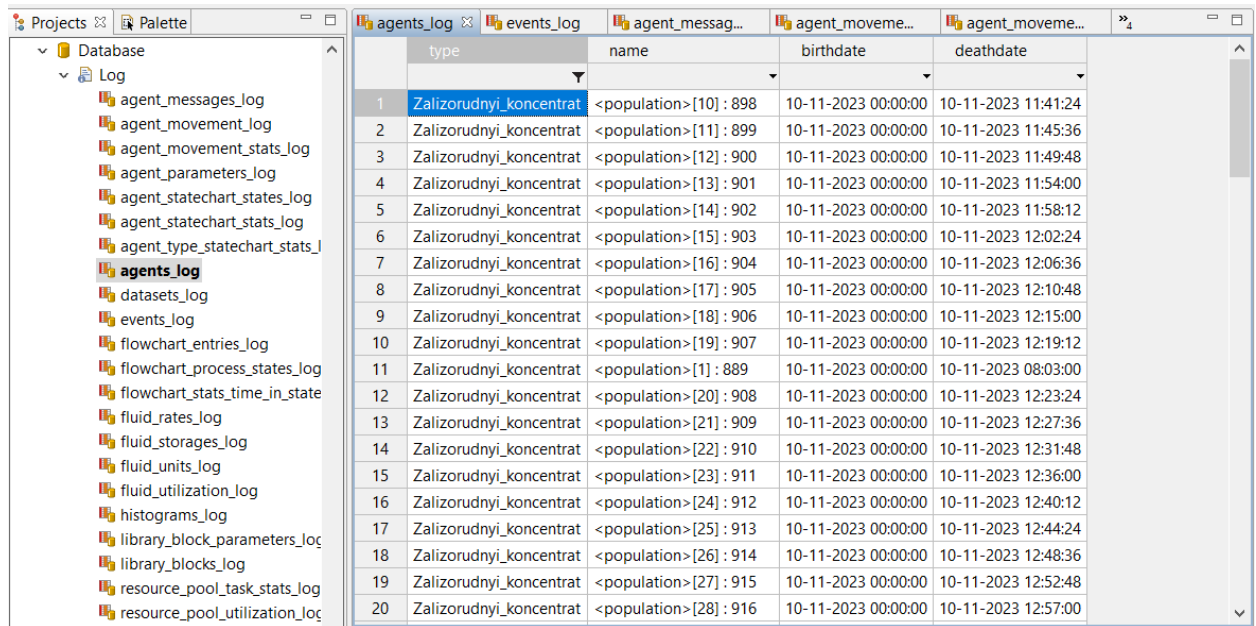


Рисунок 2.23 - Збір даних щодо тривалості обробки вагонів в онлайн режимі роботи моделі

Аналогічним чином реалізовуємо збір статистики для кожного виду вантажу.

За потреби доступу до кожного значення тривалості часу простою вагонів, що фіксувалися на протязі роботи моделі, слід звернутися до вкладки `agents_log` в папці `Database` на панелі `Project` (рис. 2.24). Тут зберігаються повні дані, що були зібрані за всіма видами вантажу.

За допомогою фільтру можна проаналізувати кожен вид окремо, або ж вивести статистику всіх вантажопотоків, що надійшли за досліджуваний період.



	type	name	birthdate	deathdate
1	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[10] : 898	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 11:41:24
2	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[11] : 899	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 11:45:36
3	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[12] : 900	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 11:49:48
4	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[13] : 901	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 11:54:00
5	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[14] : 902	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 11:58:12
6	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[15] : 903	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:02:24
7	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[16] : 904	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:06:36
8	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[17] : 905	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:10:48
9	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[18] : 906	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:15:00
10	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[19] : 907	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:19:12
11	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[1] : 889	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 08:03:00
12	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[20] : 908	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:23:24
13	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[21] : 909	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:27:36
14	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[22] : 910	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:31:48
15	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[23] : 911	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:36:00
16	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[24] : 912	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:40:12
17	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[25] : 913	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:44:24
18	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[26] : 914	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:48:36
19	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[27] : 915	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:52:48
20	Zalizadorudnyi_koncentrat	<population>[28] : 916	10-11-2023 00:00:00	10-11-2023 12:57:00

Рисунок 2.24 – Доступ до статистичних даних, що були зібрані за період роботи моделі

2.4 Розробка інтерфейсу вікна запуску моделі

Спочатку розробляємо форму для внесення вхідних параметрів моделі. Імітаційна модель повинна генерувати надходження вантажів згідно із заданими вихідними даними.

Заплановані обсяги надходжень, дату і час відправлення вантажів вводять у форму (рис. 2.25). Також тут вказуються залишки невивантажених вагонів на початок доби.

Для внесення даних використовуємо елементи Edit Box.

Edit Box - це базовий текстовий елемент управління, який дозволяє користувачеві вводити невелику кількість тексту.

Поля редагування зазвичай використовуються для зміни значень змінних і параметрів під час виконання моделі. Цей елемент управління можна зв'язати зі змінною або параметром типу String, double або int. У цьому

випадку, коли користувач змінює вміст поля редагування, пов'язаний параметр одразу отримує цей вміст як своє значення.

	Залишок на початок доби	Очікуване надходження	Дата надходження	Час надходження
Залізорудний концентрат				
Рудні матеріали				
Вугілля				
Вапняк				
Кокс				
Окатиці				
Інші				

Рисунок 2.25 Інтерфейс вікна запуску експерименту

Тепер треба створити для кожного поля введення даних відповідний параметр та виконати їх прив'язку один до одного. Для цього у властивостях поля Edit Box вказуємо назву параметру, за який воно відповідатиме. Наприклад, для поля внесення даних щодо залишку вагонів залізорудного концентрату на початок доби вказуємо у графі link to параметр `zalyshok_koncentrat` (рис. 2.26)

editbox - Edit Box

Name: ☐ Ignore

☒ Visible on upper agent ☐ Lock

☒ Link to:

Minimum value:

Maximum value:

Рисунок 2.26 – Задання вхідних параметрів моделювання

Перелік всіх створених керованих параметрів моделі наведено на рисунку 2.27

Залишок	Надходження	Дата надходження	Час надходження
 zalyshok_koncentrat	 vhid_koncentrat	 data_koncentrat	 chas_koncentrat
 zalyshok_ruda	 vhid_ruda	 data_ruda	 chas_ruda
 zalyshok_vugillia	 vhid_vugillia	 data_vugillia	 chas_vugillia
 zalyshok_vapniak	 vhid_vapniak	 data_vapniak	 chas_vapniak
 zalyshok_koks	 vhid_koks	 data_koks	 chas_koks
 zalyshok_okatyshi	 vhid_okatyshi	 data_okatyshi	 chas_okatyshi
 zalyshok_inshi	 vhid_inshi	 data_inshi	 chas_inshi

Рисунок 2.27 - Параметри моделі

Аналогічним чином прив'язуємо кожне з текстових полів інтерфейсу до відповідного параметру моделі. Після цього, безпосередньо в елементах моделі, робимо посилання на встановлені параметри. Наприклад, при встановленні залишків вантажів на початку моделювання, замість конкретних значень вписуємо відповідні параметри:

```

koncentrat.inject(zalyshok_koncentrat);
ruda.inject (zalyshok_ruda);
vugillia.inject(zalyshok_vugillia);
vapniak.inject(zalyshok_vapniak);
koks.inject(zalyshok_koks);
okatyshi.inject(zalyshok_okatyshi);
inshi.inject(zalyshok_inshi);

```

Параметри, що відповідають за обсяг надходжень вказуємо в об'єктах типу Source відповідно виду вантажу. Тут же можна вказати і параметри дати і часу надходження. Окрім того, параметри дати і часу можна використувати при створенні подій надходження вантажів.

Таким чином, розроблена модель дозволяє виконати прогноз тривалості простою вагонів і використання інших ресурсів (локомотивів, навантажувально-розвантажувальних засобів тощо) за різних варіантів організації поставок. Оперативне коригування введених параметрів дає можливість визначати оптимальні обсяги та час надходжень вантажів.

Так як було встановлено в аналітичній частині, найбільший вплив на тривалість простою всіх вагонів мають надходження залізрудного концентрату. Тому в рамках даної роботи планується проведення експериментів на розробленій моделі саме в умовах варіювання часу надходжень цього вантажу на підприємство.

2. 5 Проведення експериментів на розробленій моделі та аналіз результатів

В середньому за добу надходить два маршрути залізрудного концентрату по 53 вагони. Середній інтервал надходження складає близько 9 годин.

Для початку треба встановити, який час є найменш напруженим щодо надходжень. Проведемо ряд експериментів за умови варіювання часу надходження одного з маршрутів. Другий поки що буде надходити у фіксований час для кожного з експериментів, так як нам необхідно визначити час, при якому значення простою вагонів буде мінімальним.

Як приклад було змодельоване функціонування системи вивантаження на 1 добу. Результати моделювання наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати першого пакету експериментів

№ експерименту	Час надходження залізо руд-ного концентрату	Очікуваний середній час простою вагона, год
1	00:00:00	13,32
2	01:00:00	13,2
3	02:00:00	13,09
4	03:00:00	12,97
5	04:00:00	12,86
6	05:00:00	12,74
7	06:00:00	12,63
8	07:00:00	12,51
9	08:00:00	12,4
10	09:00:00	12,28
11	10:00:00	12,17
12	11:00:00	12,05
13	12:00:00	11,94
14	13:00:00	11,82
15	14:00:00	11,71
16	15:00:00	11,59
17	16:00:00	11,48
18	17:00:00	11,37
19	18:00:00	11,43
20	19:00:00	11,6
21	20:00:00	11,76
22	21:00:00	11,87
23	22:00:00	11,91
24	23:00:00	11,97

Експеримент проводився в умовах варіювання часу надходження залізорудного концентрату на комбінат.

Нижче наведені дані щодо руху вагонів із сировиною на протязі досліджуваної доби (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Рух вагонів із сипкими вантажами за досліджувану добу

Вантаж	Залишок на початок доби, ваг.	Надійшло за добу, ваг.
Концентрат залізорудний	93	106
Руда	96	106
Вугілля	40	40
Вапняк	120	56
Кокс	57	30
Окатиші	82	53
Інші	67	8
Усього	555	399

Було проаналізовано роботу моделі за різних можливих варіантів часу відправок маршрутів залізорудного концентрату постачальниками та фіксованого значення обсягів надходження решти сипучих вантажів.

Як бачимо з таблиці 2.3 та рис. 2.28, найменший середній час простою вагонів спостерігається при надходженні залізорудного концентрату у проміжок часу з 16:00 до 19:00.

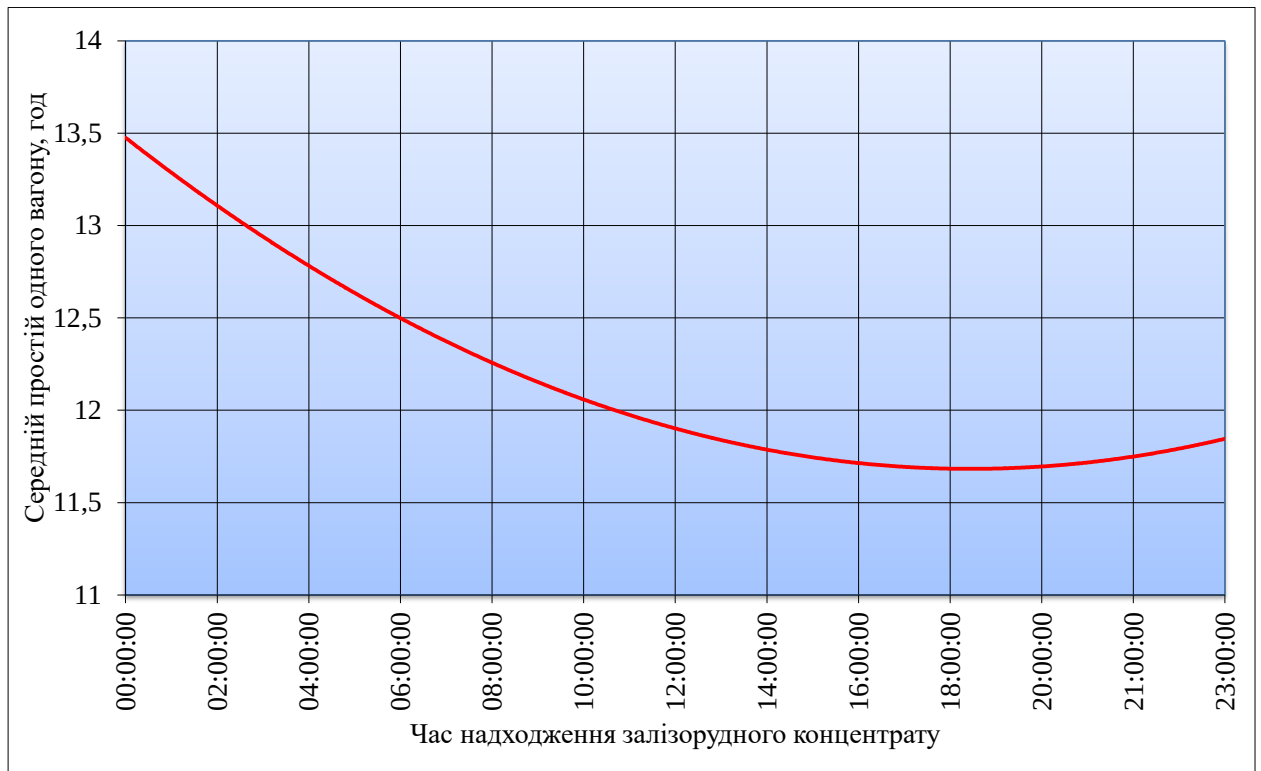


Рисунок 2.28 - Графік динаміки середнього простоя вагона залежно від часу надходження залізничного концентрату

Як видно з наведеного графіка (рис. 2.28), час надходження залізничного концентрату помітно впливає на середній простій усіх вагонів.

Під час вибору часу поставок також необхідно враховувати середній інтервал надходжень залізничного концентрату на комбінат (середній інтервал становить 9 годин).

Тому проведемо наступний ряд експериментів з варіюванням обох партій надходжень концентрату з інтервалом у 9 годин.

Перше надходження будемо варіювати у період з 00:00 годин до 14:00 годин. У більш пізній період перше надходження не очікуємо, оскільки в такому разі друге надходження концентрату буде опрацьовуватися в наступну добу, що не розглядається в рамках даного експерименту.

Результати другого пакету експериментів наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати другого пакету експериментів

№ ек- спе- рима- нту	Перше надхо- дження	Друге надхо- дження	Очікуваний сере- дній час простою вагона, год	Зміна тривалості простою у порів- нянні з поперед- нім, год
1	00:00:00	09:00:00	14,35	
2	01:00:00	10:00:00	14,13	-0,226
3	02:00:00	11:00:00	13,91	-0,218
4	03:00:00	12:00:00	13,70	-0,205
5	04:00:00	13:00:00	13,50	-0,205
6	05:00:00	14:00:00	13,29	-0,205
7	06:00:00	15:00:00	13,09	-0,204
8	07:00:00	16:00:00	12,88	-0,205
9	08:00:00	17:00:00	12,68	-0,205
10	09:00:00	18:00:00	12,48	-0,204
11	10:00:00	19:00:00	12,27	-0,205
12	11:00:00	20:00:00	12,31	0,035
13	12:00:00	21:00:00	12,41	0,108
14	13:00:00	22:00:00	12,51	0,097
15	14:00:00	23:00:00	12,67	0,16

Згідно отриманих результатів можемо зробити висновки, що найкращі усереднені показники простою вагонів досягаються при надходженні першої партії концентрату у період з 08:00 до 14:00 і другої партії концентрату після 17:00. Але треба брати до уваги, що при пізньому надходженні вагонів, більш за все, велика частка з них залишиться на опрацювання на наступну добу, що тим самим збільшить тривалість їх простою. І низькі показники були отримані лише тому, що експеримент проводиться в рамках однієї доби.

Згідно першого графіку (рис. 2.28) після 17:00 тривалість простою вагонів поступово збільшувалась.

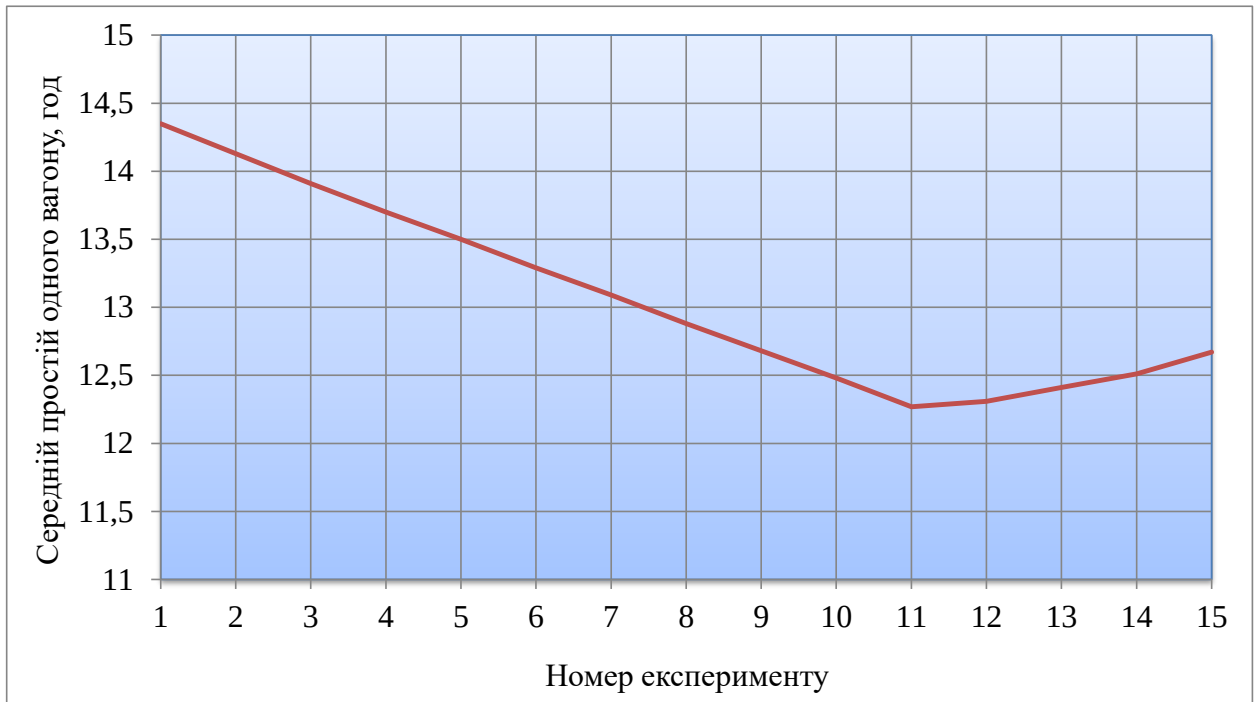


Рисунок 2.29 - Графік динаміки середнього простою вагона залежно від часу надходження залізничного концентрату

З рисунку 2.29 бачимо, що після 11-го експерименту (тобто при надходженні другої партії концентрату після 19:00) тривалість простою вагонів починає рости. Отже можемо вважати, що результати експериментів 12-15 можуть бути некоректними, тому виключаємо їх з подальшого аналізу.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Економічне обґрунтування доцільності пропонованих рішень

У попередньому розділі шляхом проведення експериментів було встановлено, що зміна часу надходження на комбінат залізрудного концентрату значно впливає на середній простій всіх вагонів, що прибули з різними видами вантажів. А отже є доцільним коригування часу цих надходжень в залежності від поточної ситуації на комбінаті в оперативному режимі.

З огляду на той факт, що навіть плануючи відправлення маршрутного складу, неможливо точно визначити момент його прибуття на комбінат, не можна розраховувати на максимально можливу економію, але на цьому прикладі можна вважати реальним рознесення часу прибуття маршрутів приблизно на 6 годин.

Водночас, згідно з таблицею 2.5, у разі здвигу часу надходження партії концентрату на кожну 1 годину, можна досягти скорочення середнього простою на 0,21 години на кожен вагон за добу. При зміщенні на 2 години середній простій вагону знизиться 0,42 години, і т.д.

Визначимо економічний ефект від варіювання часу надходжень концентрату при зміщенні на одну годину.

За досліджуваний період (1 доба) було оброблено 575 вагонів.

Таким чином, за вартості однієї вагоно-години 56,25 грн, економія за добу становитиме:

$$E_{\text{доб}} = 0,21 \cdot 575 \cdot 56,25 = 6792,19 \text{ грн.}$$

За рік матимемо економію:

$$E_{\text{річ}} = 6792,19 \cdot 365 = 2479149 \text{ грн.}$$

Таким чином, при зміщенні графіка прибуття вагонів з концентратом на кожну 1 годину можна отримати економію у розмірі 2,5 млн грн на рік.

Для визначення можливого економічного ефекту в умовах різного часу надходжень треба виконати розрахунки витрат за всіма проведеними експериментами.

3.2 Розрахунок витрат та можливого економічного ефекту в залежності від часу надходження залізрудного концентрату на підприємство

Для визначення можливого економічного ефекту від оперативного планування часу надходження залізрудного концентрату на підприємство необхідно розрахувати розмір витрат для кожного експерименту. До загальних витрат будуть входити витрати на користування вагонами та витрати на роботу локомотивів.

Визначимо добові витрати на простій вагонів для кожного варіанту часу надходження залізничного концентрату за формулою [8]:

$$B_{np} = t_{np} \cdot n_{ваг} \cdot C_{год}, \quad (3.1)$$

де t_{np} – середня тривалість простою вагону для i -го експерименту, год;
 $N_{ваг}$ – кількість обслужених вагонів за досліджувану добу (враховуючи залишок вагонів на початок доби), ваг.;
 $C_{год}$ – вартість години простою вагона згідно тарифної ставки, грн,
 $C_{год} = 56,25$ грн.

Витрати на використання локомотивів визначаються виходячи з часу корисної роботи локомотива за рік:

$$B_{річ}^{лок} = T_{лок} \cdot C_{лок}, \quad (3.3)$$

де $C_{лок}$ – вартість локомотиво-години, За даними підприємства $C_{лок} = 1479,68$ грн.

Річна тривалість корисної роботи локомотивів складе [9]:

$$T_{лок} = n_{лок} \cdot t_{кр} \cdot D_p, \quad (3.2)$$

де $n_{лок}$ – кількість локомотивів, що обслуговують вагони з сировиною, од. (приймаємо $n_{лок} = 3$ локомотиви);
 $t_{кр}$ – тривалість корисної роботи локомотива, год (приймаємо 22 години на добу);
 D_p – кількість робочих днів на рік.

Виконуємо розрахунки за формулами (3.2) і (3.3):

Річна тривалість корисної роботи локомотивів:

$$T_{лок} = 3 \cdot 22 \cdot 365 = 24090 \text{ год.}$$

Витрати на локомотиви:

$$B_{річ}^{лок} = 24090 \cdot 1479,68 = 35645491 \text{ грн.}$$

Тоді річні витрати для кожного експерименту визначаємо за формулою:

$$B_{річ} = B_{доб}^{ваг} \cdot D_p + B_{річ}^{лок}. \quad (3.4)$$

Експеримент 1 (1-ше надходження - 00:00 год, 2-ге надходження - 09:00 год):

$$B_{np}^1 = 14,35 \cdot 575 \cdot 56,25 = 464133 \text{ грн}$$

$$B_{pich}^1 = 464133 \cdot 365 + 35645491 = 205054036 \text{ грн}$$

Експеримент 2 (1-ше надходження - 01:00 год, 2-ге надходження - 10:00 год):

$$B_{np}^2 = 14,13 \cdot 575 \cdot 56,25 = 457017 \text{ грн}$$

$$B_{pich}^2 = 457017 \cdot 365 + 35645491 = 202456696 \text{ грн}$$

Експеримент 3 (1-ше надходження - 02:00 год, 2-ге надходження - 11:00 год):

$$B_{np}^3 = 13,91 \cdot 575 \cdot 56,25 = 449902 \text{ грн}$$

$$B_{pich}^3 = 449902 \cdot 365 + 35645491 = 199859721 \text{ грн}$$

Експеримент 4 (1-ше надходження - 03:00 год, 2-ге надходження - 12:00 год):

$$B_{np}^4 = 13,7 \cdot 575 \cdot 56,25 = 443109 \text{ грн}$$

$$B_{pich}^4 = 443109 \cdot 365 + 35645491 = 197380276 \text{ грн}$$

Експеримент 5 (1-ше надходження - 04:00 год, 2-ге надходження - 13:00 год):

$$B_{np}^5 = 13,5 \cdot 575 \cdot 56,25 = 436641 \text{ грн}$$

$$B_{pich}^5 = 436641 \cdot 365 + 35645491 = 195019456 \text{ грн}$$

Експеримент 6 (1-ше надходження - 05:00 год, 2-ге надходження - 14:00 год):

$$B_{np}^6 = 13,29 \cdot 575 \cdot 56,25 = 429848 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^6 = 429848 \cdot 365 + 35645491 = 192540011 \text{ грн}$$

Експеримент 7 (1-ше надходження - 06:00 год, 2-ге надходження - 14:00 год):

$$B_{np}^7 = 13,09 \cdot 575 \cdot 56,25 = 423380 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^7 = 423380 \cdot 365 + 35645491 = 190179191 \text{ грн}$$

Експеримент 8 (1-ше надходження - 07:00 год, 2-ге надходження - 15:00 год):

$$B_{np}^8 = 12,88 \cdot 575 \cdot 56,25 = 416588 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^8 = 416588 \cdot 365 + 35645491 = 187700111 \text{ грн}$$

Експеримент 9 (1-ше надходження - 08:00 год, 2-ге надходження - 16:00 год):

$$B_{np}^9 = 12,68 \cdot 575 \cdot 56,25 = 410119 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^9 = 410119 \cdot 365 + 35645491 = 185338926 \text{ грн}$$

Експеримент 10 (1-ше надходження - 09:00 год, 2-ге надходження - 17:00 год):

$$B_{np}^{10} = 12,48 \cdot 575 \cdot 56,25 = 403650 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^{10} = 403650 \cdot 365 + 35645491 = 182977741 \text{ грн}$$

Експеримент 11 (1-ше надходження - 10:00 год, 2-ге надходження - 18:00 год):

$$B_{np}^{11} = 12,27 \cdot 575 \cdot 56,25 = 396858 \text{ грн}$$

$$B_{piч}^{11} = 396858 \cdot 365 + 35645491 = 180498661 \text{ грн}$$

Результати розрахунків добової, річної вартості простою вагонів а також загальних витрат на рік наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок витрат в умовах варіювання часу надходження залізничного концентрату

№ експ	Перше надходження концентрату	Друге надходження концентрату	Середній час простою вагона, год	Вартість простою опрацьованих вагонів за добу, грн	Річна вартість простою вагонів за рік, грн	Загальні витрати на рік, грн
1	00:00	09:00	14,35	464133	169408545	205054036
2	01:00	10:00	14,13	457017	166811205	202456696
3	02:00	11:00	13,91	449902	164214230	199859721
4	03:00	12:00	13,70	443109	161734785	197380276
5	04:00	13:00	13,50	436641	159373965	195019456
6	05:00	14:00	13,29	429848	156894520	192540011
7	06:00	15:00	13,09	423380	154533700	190179191
8	07:00	16:00	12,88	416588	152054620	187700111
9	08:00	17:00	12,68	410119	149693435	185338926
10	09:00	18:00	12,48	403650	147332250	182977741
11	10:00	19:00	12,27	396858	144853170	180498661

Згідно таблиці 3.1 маємо оптимальний час надходження концентрату – 10:00 год – першої партії та 19:00 год – другої партії (експеримент 11). В такому випадку тривалість простою вагонів, і витрати будуть мінімальними. Найгірші економічні показники при надходженнях о 00:00 год та 09:00 год (експеримент 1). В такому випадку зміщення часу надходження вантажу має складати 10 годин.

Отже максимально можлива економія при порівнянні найбільш та най-

менш вигідного варіантів може скласти:

$$E_{\max} = 205054036 - 180498661 = 24555375 \text{ грн.}$$

Наступний економічно вигідний варіант надходження концентрату 09:00 год та 18:00 год (експеримент 10). В даному випадку зміщення часу надходження залізорудного концентрату становитиме лише 1 годину, тому економічний ефект буде мінімальним:

$$E_{\min} = 182977741 - 180498661 = 2479080 \text{ грн.}$$

Розрахунки можливого економічного ефекту наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Визначення економічного ефекту в умовах варіювання графіку надходження залізорудного концентрату

Зміщення часу надходження залізорудного концентрату , год	Можлива економія на добу, грн	Річний економічний ефект, грн
10	67275	24555375
9	60159	21958035
8	53044	19361060
7	46251	16881615
6	39783	14520795
5	32990	12041350
4	26522	9680530
3	19730	7201450
2	13261	4840265
1	6792	2479080

Таким чином, в умовах оперативного управління часом надходжень залізорудного концентрату, в залежності від періоду можливо отримати річний економічний ефект від 2,5 до 24,5 млн грн. Це залежатиме від поточної можливості коригування часу надходжень. Середня можлива економія від пропонуваного рішення складатиме 13,35 млн грн на рік.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі дипломного проекту щодо удосконалення процесу надходження вантажів на металургійне підприємство шляхом оперативного планування роботи залізничного транспорту розглянуті небезпеки, що можуть вплинути на дослідника та робітників під час вантажної переробки металопродукції та її перевезення. Розроблені заходи по їх усуненню. Розглянуті небезпеки при перевезенні вантажу залізничним транспортом.

4.1. Аналіз потенційних небезпек

При завантаженні вагонів металопродукцією можливо падіння вантажу з-за несправності стропів, траверс, гаків кранів, що призводить до травмування робітників.

При навантажувальних роботах можливо падіння вантажу з-за різних причин та інші небезпеки, які розглянуті в Додатку А.

В Додатку Б показані заходи по їх усуненню. В Додатку В зроблено розрахунок дослідження шкідливих факторів виробничого характеру, значення яких були заміряні в лабораторії дослідника де є ПК.

4.2. Заходи безпеки з цивільного захисту

4.2.1. Вимоги до систем електропостачання

Електропостачання є основою всякого виробництва. Порушення нормальної подачі електроенергії на об'єкт або окремі його ділянки може привести до повного припинення роботи об'єкта.

Для забезпечення надійного електропостачання в умовах війни при його проектуванні й будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги, що впливають із завдань ЦО.

Електропостачання повинне здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції слід розміщати друг від друга й від великих міст на значних відстанях.

Постачання електроенергією великих міст і об'єктів, народного господарства слід передбачати від двох незалежних джерел. При електропостачанні об'єкта від одного джерела повинне бути не менш двох уведень із різних напрямків.

Трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати, їхня стійкість повинна бути не нижче стійкості самого об'єкта. Електроенергію до ділянок Виробництва слід подавати по незалежних електрокабелях, прокладених у землі.

Крім того, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання, Для цього можна використовувати пересувні електростанції на залізничних платформах і судах, малопотужні електростанції, не включені в енергосистеми, і т.п.

У містах, розташованих на берегах морів і рік, необхідно створювати берегові пристрої для приймання електроенергії від суднових енергоустановок. Система електропостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

4.2.2. Заходи з пожежної безпеки

Комплекс заходів з пожежної безпеки для накопичувального майданчика, розроблений відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Для попередження займання ізоляції електропроводки на майданчику необхідно захистити електропроводку від пошкодження, розмістивши її в товстостінні труби або зробити повітряний підвіс, відповідно вимогам ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека». Клас можливої пожежі буде визначено як «В», а категорія накопичувального майданчику по пожежній безпеці – до «Г». Площа складу складає – 1650 м². Згідно НАПБ 03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обираються 6 порошкових вогнегасників ВП-8. Первинні засоби пожежогасіння розташовуються при майданчику на пожежному щиті.

ВИСНОВКИ

Основним завданням магістерської роботи було удосконалити процес надходження вантажів на металургійний комбінат ПАТ «Запоріжсталь» шляхом оперативного планування роботи залізничного транспорту.

В першій частині було висвітлено особливості транспортування залізничної сировини металургійних підприємств. Досліджено існуючі вантажопотоки на комбінаті та проаналізовано обсяги залишків вантажів. Встановлено, що найбільші вантажопотоки - це надходження залізничного концентрату та рудних матеріалів.

В другій частині було визначено середньодобові надходження сипких вантажів на підприємство та проаналізовано обсяги не обслуговуваних вагонів за добу. З метою оперативного управління надходження сировини на підприємство була розроблена імітаційна модель, що відтворює процеси надходження вагонів із сировиною, розподілу їх на вантажні фронти та безпосередньо вивантаження.

Проведено ряд експериментів на розробленій моделі в умовах варіювання часу надходження залізничного концентрату на комбінат в межах однієї доби. Було проаналізовано роботу моделі за різних можливих варіантів часу відправок маршрутів залізничного концентрату постачальниками та фіксованого значення обсягів надходження решти сипких вантажів.

Найменший середній час простою вагонів 11,4 год, отримано при надходженні залізничного концентрату у проміжок часу з 16:00 до 19:00.

Після проведення другого пакету експериментів з варіюванням часу надходжень обох партій залізничного концентрату, встановлено, що найкращі усереднені показники простою вагонів досягаються при надходженні першої партії концентрату у період з 08:00 до 14:00 і другої партії концентрату з 17:00 до 19:00.

В економічній частині магістерської роботи розраховані витрати та можливого економічного ефекту в залежності від часу надходження залізорудного концентрату на підприємство. Визначено, що при зміщенні графіка прибуття вагонів з концентратом на кожну 1 годину можна отримати економію у розмірі 2,5 млн грн на рік.

Таким чином, в умовах оперативного управління часом надходжень залізорудного концентрату, можливо отримати річний економічний ефект від 2,5 до 24,5 млн грн. Це залежатиме від поточної можливості коригування часу надходжень. Середня можлива економія від пропонованого рішення складатиме 13,35 млн грн на рік.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Офіційний сайт ПАТ «Запоріжсталь»: «Про підприємство». URL : <https://zaporizhstal.com/>
2. Правила перевезення вантажів: офіційний веб-сайт. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0861-00#Text>
3. Єдиний технологічний процес роботи станції примикання Запоріжжя-Ліве та під'їзної колії ПАТ «Запоріжсталь». – Запоріжжя : ПАТ «Запоріжсталь», 2017. – 180 с.
4. Технічно-розпорядчий акт станції «Південна» / ПАТ ЗМК «Запоріжсталь» : затв. в.о. нач. УЗТ Ковган В.О. – Запоріжжя, 2021. – 29 с.
5. Вантажні перевезення на залізничному транспорті: Підручник / О.В. Лаврухін та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Ч. 1. – 260 с., рис. 43, табл. 52.
6. Лашених О. А. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем: навч. посібник / О. А. Лашених, О. Ф. Кузькін, С. В. Грицай. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2011. – 419 с.
7. Серeda Б.П. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства: монографія / Б.П. Серeda, С.М. Турпак, І.В. Кругляк, О.О. Острогляд, Д.Я. Муковська, Д.Б. Серeda, Д.О. Кругляк. – Кам'янське: ДДТУ, 2021. – 272 с.
8. Економіка залізничного транспорту: навч. посібник / Л.О. Позднякова, О.Г. Дейнека, М.Д. Жердев та ін.; за заг. ред. Л.О. Позднякової, О.Г. Дейнеки. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 243 с.
9. Методичні вказівки до економічної частини дипломного проекту для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» / Укл. Кузькін О.Ф., Харченко Т.В., Васильєва Л.О., Лебідь Г.О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 34 с.
10. «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» НПАОП 0.00-1.80-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – URL:

<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

11. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт НПАОП 0.00-1.75-15 [24]. К. Міненерговугілля України, 2015. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

12. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2018. 44 с.

ДОДАТОК А

АНАЛІЗ ДОДАТКОВИХ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

При розвантажувальних роботах можливо падіння вантажу з-за різних причин:

- а) не надійності кріплення останнього стропальниками;
- б) не виконання стропальниками встановленої системи сигналізації;
- в) переміщення вантажу понад норми по номіналу ваги;
- г) перенесення вантажу над людьми.

Також можливі інші небезпеки:

- ураження електричним струмом козових та стрілових кранів при роботі їх біля мережі і повітряних ліній, що перебувають під напругою що призводить до загибелі людей;

- при роботах в темну пору при вантажних роботах при недостатньому освітленні можливо не дотримування технології складування вантажу, що призведе до обвалу складованого вантажу і травмування робітників;

- при не відповідних діях при зчепленні вагонів, не застосуванні башмаків, можливе відділення вагонів від головного поїзду, що призведе до аварій;

- під час навантажувальних робіт в холодну пору року можливе переохолодження робітників, що призводить до захворювання;

- можливе падіння стрілових та козових кранів з-за сильного вітру на навантажувальному майданчику;

- багато травм відбуваються при виконанні робіт на полотні під час переходу через колії, під час перетинання колії перед наближенням рухомого складу, під час перетинання колії на якій стоять вагони;

- при обробці даних на ПК на дослідника діє ряд шкідливих факторів таких як не відповідність мікроклімату приміщення, де знаходиться ПК, недостатня освітленість, підвищений рівень шуму та інші.

ДОДАТОК Б

ЗАХОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ

Стропальники, які виконують роботу з застосуванням крану, під час вантажно-розвантажних робіт мають знати та виконувати встановлену систему звукової та знакової сигналізації.

Перед вантажно-розвантажувальних роботах необхідно візуально перевіряти такелажні пристрої та періодично відправляти їх на перевірку. Відповідно «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» НПАОП 0.00-1.80-18 [10].

Не дозволяється піднімати вантаж без перевірки надійності стропування та підтягувати вантаж косим натягом троса.

За кранами та іншими вантажопідіймальними механізмами закріплюються стропальники, які пройшли навчання, перевірку знань і мають відповідне посвідчення відповідно НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт».

Стропальники, під час роботи, користуються захисними касками, дослідник також.

Стропальники, повинні знати та точно виконувати встановлену систему знакової та звукової сигналізації.

На місці виконання вантажно-розвантажувальних робіт мають бути схеми стропування та перелік вантажів з указівкою їх маси.

Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт НПАОП 0.00-1.75-15 [11].

При роботі козлових і стрілових кранів біля контактної мережі і повітряних ліній, що перебувають під напругою, має відповідати вимогам «Правил охорони електричних мереж» НПАОП 60.1-1.48-00.

Для запобігання ураження електричним струмом, установка та робота

крана ближче 40 м від крайнього проводу повітряної лінії електропередачі напругою більше 42 В допускаються при наявності наряду-допуску на кран та письмового дозволу організації, що експлуатує цю лінію.

ДОДАТОК В

ЗАХОДИ З ВИРОБНИЧОЇ САНІТАРІЇ ТА ГІГІЄНИ ПРАЦІ

У темний час доби завантаження металопродукції дозволяються при освітленості місця робіт не менше 20 лк, заміряної в горизонтальній площині на рівні землі працівниками санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України на залізничному транспорті. Освітлення облаштовується прожекторне, які розташовані на щоглах. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне та штучне освітлення».

Для запобігання переохолодження робітників в холодну погоду не обхідно виділення теплого одягу відповідно Наказу № 62 від 12.05.2009 «Норми спец одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту».

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою розглянуто на прикладі оцінки факторів виробничого середовища для дослідника лабораторії обладнаної ПК.

У відповідності до вихідних даних, які були заміряні в лабораторії, вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії вносимо до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

З додатків [12], відповідно до категорії робіт 1б, розряду зорових робіт Б-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до таблиці В.1 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення таблиці В.1 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

Таблиця В.1 - Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{\text{вим}}$	Час дії год.	ГДК, ГДР, показники, $P_{\text{доп}}$	$X_{\text{визн}}$, бали	Клас умов праці	X_i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, t, °C	27,5	9	23,5-26,4	3	3.3	3
Освітленість приміщення E, лк	200	10	300	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{\text{ор}}$	Б-1	—	—	—	—	—
Рівень шуму L, дБА	95	5	80	—	3.2	1,25
Загальні енергозатрати організму, Вт	190	7	290	0,57	3.3	3
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	63000	7	40000	1,38		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	81	7	75	0,95		
Тривалість робочого дня, год.	10	10	8	0,23		

Для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [12]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{визн}}$ при оцінці мікроклімату визначаємо в балах, за формулою (В.1):

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} \quad (B.1)$$

$$X_{визн} = \frac{3 \cdot 9}{9} = 3.$$

Для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою (B.2):

а) Загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} \quad (B.2)$$

$$X_{визн} = \frac{190 \cdot 7 \cdot 1}{8 \cdot 290} = 0,57.$$

б) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{60300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,38.$$

в) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{81 \cdot 7 \cdot 1}{8 \cdot 75} = 0,95.$$

г) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{знач} = 0,15$:

$$X_{\text{визн}} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,23.$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці В.1 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}} = 3$, з таблиці 7.2 [12] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $\Pi_{\text{вим}} = 200$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [12] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $\Pi_{\text{вим}} = 95$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [12] – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{\text{визн}}$ за формулою (В.3) [12]:

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{В.3})$$

$$X_{\text{сум}} = 0,57 + 1,38 + 0,95 + 0,23 = 3,13.$$

З таблиці 7.3 [12] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{\text{сум}} = 3,13$ – 3 клас, 3 ступінь (3.3).

В результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 3 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослі-

дження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до столпчика 7, таблиці В.1 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

- при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 9 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 2 ступеню умов праці та діє протягом 6 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою (В.4) [12]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} \quad (\text{В.4})$$

$$X_i = 1 \cdot \frac{2 \cdot 5}{8} = 1,25.$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому: $X_{cm} = X_i = 3$.

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою (В.5) [12]:

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{В.5})$$

$$X_{\text{факт}} = 3 + 1 + 1,25 + 3 = 8,25.$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 8,25$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [12]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 20 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці дослідника належать до категорії 1а, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 1а, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - $21,0-23,4^{\circ}\text{C}$;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 300 \text{ лк}$;

- рівень шуму в робочий зоні дослідника – 80 дБА ;

- загальні енергозатрати організму, до 140 Вт ;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50%;

- тривалість робочого дня 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 6 або 7 год
для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [12], у розмірі 20%