

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСТАВКИ КОКСУ МАГІСТРАЛЬНИМ
ТРАНСПОРТОМ НА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Виконав: студент II курсу, групи T-811м

Спеціальності 275 Транспортні технології
(на залізничному транспорті)
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Транспортні технології
(на залізничному транспорті)

		Денис ПІСКУН (прізвище та ініціали)
Керівник		Сергій ТУРПАК (прізвище та ініціали)
Рецензент		Ольга ДУДАРЕНКО (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології» _____

Сергій ТУРПАК

24.10.2022 року

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

Піскуна Дениса Олександровича _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Організація доставки коксу магістральним транспортом на ПАТ «Запоріжсталь»

керівник проєкту (роботи) Турпак Сергій Миколайович,

д-р техн. наук

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» жовтня 2022 р. №351

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.12.2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) існуючі обсяги вантажоперевезень рідкого шлаку, існуюча технологія виконання транспортних та вантажних робіт, характеристики рухомого складу та колійного розвитку

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина. 2. Основна частина. 2.1 Аналіз інтенсивності вантажопереробки коксу. 2.2 Модель вантажопереробки коксу. 2.2.1 Ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу. 2.2.2 Ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом. 2.2.3 Ланцюг процесів вивантаження коксу на склад. 2.3 Експерименти на моделі доставки коксу. 3. Економічна частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація магістерської роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Аналітична частина	Турпак С.М., проф.		
Основна частина	Турпак С.М., проф.		
Економічна частина	Харченко Т.В., ст. викл.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Лазуткін М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання 24.10.2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	24.10-07.11.2022	
2	Основна частина	07.11-27.11.2022	
3	Економічна частина	28.11-05.12.2022	
4	Охорона праці	05.12-10.12.2022	
5	Оформлення МР	10.12-13.12.2022	
6	Перевірка МР на плагіат	12.12-18.12.2022	
7	Отримання зовнішніх рецензій	12.12-16.12.2022	
8	Захист магістерських робіт	19.12-23.12.2022	

Студент(ка)


(підпис)

Денис ПІСКУН
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Сергій ТУРПАК
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ : 99 с., 52 рис., 9 табл., 12 джерел.

КОКС ДОМЕННИЙ, МАГІСТРАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ, ЗАЛІЗНИЦЯ,
ДОМНА, БУНКЕР, ШТАБЕЛЬ

Об'єкт дослідження – транспортна система перевезень та вантажопереробки коксу для доменного цеху в умовах його доставки магістральним залізничним транспортом.

Мета роботи – удосконалення технології перевезень та вантажопереробки коксу для доменного виробництва в умовах його доставки магістральним залізничним транспортом.

Методи дослідження – аналітичний аналіз, імітаційне моделювання, графічний аналіз.

В магістерській роботі проаналізована технологія організації перевезень та вантажопереробки коксу для доменного цеху в умовах його доставки магістральним залізничним транспортом, на прикладі ПАТ «Запоріжсталь». Розроблена імітаційна модель, визначені параметри її функціонування, виконані техніко-економічні розрахунки варіантів підтримки страхового запасу вантажу та обрано найбільш ефективний варіант організації транспортних технологій.

ЗМІСТ

	с.
Завдання на проєкт	2
Реферат.....	4
Зміст	5
Вступ	7
1 Аналітична частина	9
1.1 Характеристика виробництва коксу	9
1.1.1 Основні технічні характеристики	9
1.1.2 Сучасна схема виробництва коксу.....	10
1.1.3 Доставка шихти	12
1.1.4 Транспортно-технологічні процеси виробництва	16
1.2 Споживання коксу доменним виробництвом	22
1.3 Постановка задач дослідження в умовах зміни умов постачання коксу	23
2 Основна частина	24
2.1 Аналіз інтенсивності вантажопереробки коксу.....	24
2.2 Модель вантажопереробки коксу	32
2.2.1 Ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу	33
2.2.2 Ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом	41
2.2.3 Ланцюг процесів вивантаження коксу на склад	48
2.3 Експерименти на моделі доставки коксу	57
3 Економічна частина	68
3.1 Витрати за варіантом 1	71
3.2 Витрати за варіантом 2	72
3.3 Витрати за варіантом 3	72

3.4 Витрати за варіантом 4	73
3.5 Витрати за варіантом 5	73
3.6 Витрати за варіантом 6	74
3.7 Витрати за варіантом 7	75
3.8 Витрати за варіантом 8	75
3.9 Витрати за варіантом 9	76
3.10 Аналіз витрат по варіантах	77
3.11 Розрахунок економічної ефективності варіанту робіт	78
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	82
4.1 Аналіз потенційних небезпек	82
4.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	83
4.2.1 Заходи з пожежної безпеки	83
4.2.2 Заходи з цивільного захисту	84
Висновки	86
Перелік посилань	88
ДОДАТОК А. АНАЛІЗ ДОДАТКОВИХ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК	90
ДОДАТОК Б. ЗАХОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ	91
ДОДАТОК В. НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА В ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ЛАБОРАТОРІЇ..	93

ВСТУП

Після початку військового вторгнення на Україну виникла необхідність планування можливих ситуацій забезпечення ефективності транспортних технологій в умовах зміни виробничих процесів.

Потреба в організації доставки коксу для доменного цеху магістральним залізничним транспортом є реальною перспективою сьогодення для ПАТ «Запоріжсталь». Східні області країни були джерелом постачань цього виду палива багато десятиків років, а зараз тем ведуться бойові дії.

Звісно, традиційний процес виробництва передбачає розташування доменного та коксохімічного цехів поруч один із другим, що забезпечує наступні переваги:

- своєчасне реагування на зміну потреби у паливі для доменного виробництва;
- рівномірність постачань;
- можливість планового створення запасів коксу;
- зменшення втрати коксу через подрібнення в процесі транспортування;
- зменшення втрат фізико-хімічних властивостей від негативної дії зовнішнього середовища, зокрема, температурних коливань та опадів, через нетривалий час доставки;
- можливість оперативного розгляду претензій за кількістю та якістю через найкоротший термін прибуття представників постачальника до споживача.

Серед усіх перелічених переваг, до технологічних слід віднести наступні:

- можливість планування;

- ефективно управління запасами.

Для тематики магістерської роботи є унікальна можливість оцінити наслідки переходу на постачання коксу зі сторони та надати обґрунтовані рекомендації щодо найефективнішого управління перевезеннями.

Управління процесом можливе за рахунок зміни таких параметрів:

- розмір запасу коксу «на колесах»;
- кількість вантажників, які задіяні в процесі вивантаження вагонів.

Для обґрунтування проєктних рішень пропонується створення імітаційної моделі, завдяки експериментальним дослідженням на якій й буде обрано найбільш ефективний варіант організації транспортних технологій.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика виробництва коксу

1.1.1 Основні технічні характеристики

Основними вимогами до конструкції коксових печей [1] є наступні:

- висока продуктивність, що забезпечується пропускною здатністю коксової камери, рівнем комплексної механізації і автоматизації трудомістких процесів;
- к моменту закінчення періоду коксування кокс повинен бути повністю готовим, однорідним за розміром частинок і з високою механічною міцністю;
- обслуговування печі повинно бути механізованим і автоматизованим;
- забезпечення чистоти повітряного басейну в зоні коксового цеху.

Якість коксівної хімії значною мірою залежить від температури нагріву стінок коксової камери та підземного простору.

У коксовій печі використовуються високотеплопровідні і міцні вогнетривкі матеріали, які дозволяють посилити процес коксування, забезпечити щільність кладки і міцність конструкції, термін їх служби повинен становити понад 25 років.

Коксування вугільної шихти відбувається в коксовій печі, яка є складною теплотехнічною установкою. Вона складається з наступних елементів:

- топка, в якій спалюється газ для нагріву стінок камери;
- гріючі стінки;
- система газорозподілу та повітропроводи для подачі газу та повітря в топку;
- регенератори для підігріву повітря і бідного газу, а також для видалення продуктів згоряння;

- арматура і механізми.

Коксові печі класифікують за такими ознаками:

- регулярної дії або безперервної дії;
- за способом нагріву – комбіновані (підігріті коксом і збідненим доменним газом), або нагрівання завдяки лише коксовому газу, тільки доменному газу;
- за схемою опалення – у печах з відвідними каналами, коли газ з однієї стінки проходить через відвідні канали в сусідню стінку або з топкою з паровим каналом і рециркуляцією;
- за способом використання теплоти відпрацьованих продуктів згоряння – регенераційна чи ні;
- відповідно до способу подачі газу та повітря – може бути бокова подача газу і повітря, а доменного газу і повітря – в нижній канал регенератора через газоповітряний клапан; з низькою подачею газу та повітря й низьким регулюванням [1].

1.1.2 Сучасна схема виробництва коксу

Кокс отримують завдяки використанню двох основних способів.

Перший полягає у пошаровому режимі – це «класичний» спосіб коксування, що виконується в горизонтальній камері; а другий є безперервним – це більш прогресивний спосіб коксування, схема якого описана нижче.

Для полегшення роботи та підвищення продуктивності камери зібрані в батарею, що складається з камер.

Верхній поверх камери має завантажувальні три отвори і отвори для видалення продуктів коксування, що надходять у газозбірник через газовідвід. З торців камера щільно закривається спеціальними дверцятами. Ці двері знімають тільки після закінчення коксування, щоб виштовхнути готовий кокс за допомогою коксових ежекторів.

У топковому відділенні – сторони виведення коксу – вони на 40-50 мм ширше за машинне відділення, яке знаходиться зі сторони вивантаження коксу для полегшення вивантаження.

Коксова камера герметична.

Калорифер між двома приміщеннями складається з ряду вертикальних нагрівальних каналів, що відокремлені один від одного перегородками. Топка закривається чавунним люком і використовується для вертикального контролю горіння газу та вимірювання температури.

Кожна піч має окремі регенератори, розташований під камерою і на одній осі з нею.

Велика кількість вертикальних перегородок нагрівальної стінки необхідна для рівномірного прогріву вугільної завантаження, щоб отримувати кокс високої якості та зниження питомих витрат теплоти на коксування.

Конструкція печі має відмінності в елементах топки по довжині стіни, що сприяють створенню необхідних умов обігріву в певних місцях системи опалення. Все це дозволяє домогтися необхідного розподілу температури по стінах.

Окрім забезпечення необхідного розподілу температури, усі осередки батареї, крім зовнішніх, повинні забезпечувати однакові температурні умови.

Коксовий і доменний (за наявності) газу подаються до кожної стіни по розподільним газопроводам з пристроями для регулювання та перекриття подачі газу до кожної стіни [1].

Продукти згоряння з регенератора направляються в пальник і далі в димохід. При нагріванні доменним газом частина газоповітряних клапанів, через які газ подавався в регенератор, перетворюються на вхідні продукти згоряння, а інші клапани перемикаються на подачу доменного газу в регенератор. Таким чином, половину часу вся система опалення працює з висхідним потоком і половину часу з низхідним потоком.

Окантовка проводиться кожні 20 хвилин.

Розглянута схема опалення печі забезпечує закінчення процесу коксування в кожній камері після завантаження.

Кожна сучасна коксова система відрізняється від інших схемою опалення, в залежності від якої визначаються окремі конструктивні елементи печі.

1.1.3 Доставка шихти

Початковою точкою коксохімічного заводу є вугільна вежа, за винятком верхньої камери (над бункерною секцією), яка є частиною вуглезбагачувальної фабрики.

Вугільна шихта надходить у вугільну башту з конвеєрним трактом подачі вугілля. Вугільні башти необхідно підтримувати в належному стані як зовні, так і всередині. Стінки бункерів повинні бути рівними і без виступів, що сприяють флотації вугілля, а похилі стінки башт і вихідні воронки зарядів повинні бути облицьовані литими кам'яними плитками, листами нержавіючої сталі.

Важлива роль в підготовці шихти для коксового виробництва відводиться усередненню матеріалів, що показано на рисунку 1.1 – першому етапі цього процесу на складах вугілля [2].



Рисунок 1.1 – Усереднення шихти на складах вугілля

Башта розділяється на секції перегородками і очищується від накопиченого вугілля не рідше одного разу на рік згідно з графіком очищення. Внизу по ширині вежі є шибер на виході з секції, через який шихта надходить у бункер вугільного завантажувача.

Стиснене повітря подається на 2-3 рівнях по висоті башти, щоб уникнути зависання вугільної шихти, а подача імпульсами забезпечує обвалення шихти.

Взимку затвор і нижня конічна частина вугільної башти обігріваються для запобігання замерзання шихти.

Заповненість вугільної башти шихтою повинна підтримуватися на рівні не менше $\frac{2}{3}$ місткості башти. Якщо рівень завантаження вугільної башти падає нижче заданого рівня, оборот печі необхідно подовжити, щоб уникнути зупинки виробництва коксу. Під час планових відключень під час ремонту рівень заповненості вугільних веж може знизитися до $\frac{1}{3}$.

Заповнення проводиться з усіх секцій вугільної вежі згідно затвердженого графіка. При цьому зберігається графік прийому шихти по елементах вугільної башти.

Для транспортування шихти використовуються стрічкові конвеєри [2] – рисунок 1.2.

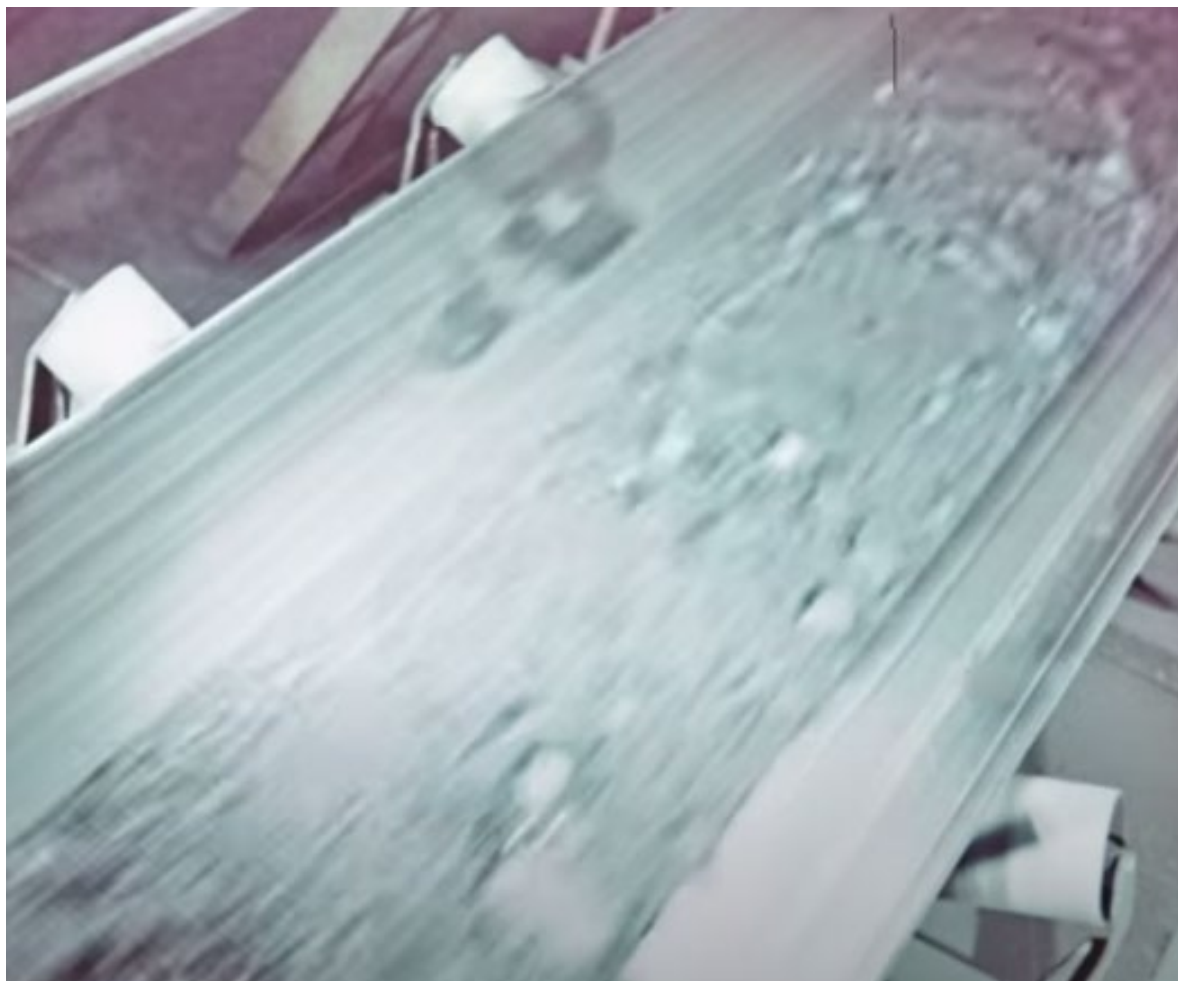


Рисунок 1.2 – Транспортування шихти стрічковими конвеєрами

Навантаження за масою контролюється завдяки вагам, які можуть бути встановлені на вагоні або під вежею.

Гранична місткість бункера повинна забезпечувати можливість завантаження 80% заряду, що завантажується в камеру, через крайній люк. Завантажувальний люк і нумерація бункера встановлюється від машини до коксу.

Завантажувати піч слід відразу після подачі коксу або через одну піч при роботі з однією порожньою топкою. Розрив між подачею в піч і завантаженням має бути зведений до мінімуму щодо послідовності завантаження. У першому випадку не більше 10 хвилин, а при роботі з порожньою топкою - не більше 20 хвилин.

Як виняток, допускається завантаження двох і більше порожніх печей. У цьому випадку інтервал часу між видачею і завантаженням збільшується більш ніж на 20 хвилин, дозволяється починати завантаження камер тільки пакетами.

Завантаження шихти здійснюється при закритій кришці стояка за допомогою пари або гідроінжектування. У той же час спочатку послідовно спустошуються зовнішні бункери (спочатку з боку коксу), а потім, коли заряд перестає підніматися, спустошується середній бункер.

Суть бездимного завантаження печі полягає в тому, щоб закрити кришку стояка, включити стояк з газозбірником і ввести пару або аміачну (залишкову) воду в патрубок на коліні стояка (вертикальної труби). В результаті інжекційний струмінь захоплює пил і газу, що виділяються з камери коксування під час завантаження газозбірника. Якщо тиск пари або води та конструкція сопла забезпечують розріджений підземний простір коксової печі, викидів полум'я, пилу та газу з-під телескопа навантажувача не буде.

У колінах стояків є отвори, в які встановлюються зрошувальні форсунки. Подається аміачна вода з температурою 75-80°C. При

використанні парового нагнітання в коліно стояка через паровий сопло подається пара під надлишковим тиском 8-9 атмосфер. Управління клапаном нагнітання пари здійснюється вручну або за допомогою ультразвуку. Споживання пари становить приблизно 150-200 кг на тонну сухого загального коксу. Коксові батареї без впорскування пари мають заглушки, що закривають отвори парових форсунок.

1.1.4 Транспортно-технологічні процеси виробництва

Коксування по суті – це процес обробки вугілля шляхом його нагрівання до температур від 950 до 1100°C без доступу повітря для отримання коксу та коксових газів.

При нагріванні коксівного вугілля без впливу повітря на наступній стадії відбувається [1]:

- до 100-110 °C – сушка;
- 110-200°C – утворення гігроскопічної та колоїдної вологи, а також виділення газів;
- 200-350°C – теплова підготовка, коли утворюються газоподібні продукти піролізу і відокремлюються термолабільні кисневмісні групи;
- 300-500°C – перехід шихти до пластичного стану, інтенсивне виділення газів і парів та посилення термічної деструкції органічної маси вугілля;
- 550-800°C – відбувається середньотемпературне коксування та посилення синтезу;
- 900-1100 ° C – процес високотемпературного коксування через переважання синтетичних процесів.

На початку процесу коксування завантаження вугілля висихає, гази, що закупуруються через адсорбацію на поверхні вугілля, видаляються, і починається крекінг вугілля. При переході вугілля в пластичний стан відбувається його спікання. Це важливе явище для процесу коксування. На третій стадії напівкокс, що утворився при твердінні пластичної маси, випалюється і твердіє.

В'язка пластична маса перешкоджає викиду продуктів розкладання в газовий резервуар, що створює тиск коксування. Необхідна в'язкість пластичної маси забезпечується правильним підбором вихідної сировини для коксування та умов її приготування. Відкачування газу з пластичної маси супроводжується утворенням системи пор всередині коксу. Міцність і пористість коксового тіла визначаються складом і властивостями шихти й умовами процесу коксування.

Під час затвердіння пластичної маси, тобто перетворення в напівкокс, відбувається інтенсивний процес розкладання і перетворення молекулярної структури речовини, що сприяє зміцненню і усадці коксового матеріалу.

Усадка спочатку збільшується, а потім зменшується зі зміною швидкості видалення летючих речовин. Процес герметизації характеризується постійним збільшенням, а потім зменшенням усадки кожного шару. Тому суміжні шари на різних стадіях процесу коксування мають різну швидкість усадки. Різниця в усадці і температурі є однією з причин розвитку внутрішньої напруги і утворення тріщин під час коксування, що в кінцевому рахунку залежить від складу коксового сита.

Процесу доставки коксу передуює підготовка пічі для роздачі. За 20 хвилин до випуску від'єднується піч від газового колектора, відкривається кришка стояка. Потім стояк очищається від графітових відкладень.

Відповідно до графіка видачі коксу машиніст коксовикидача за командою машиніста електровоза вагону коксогасіння знімає двері з печі.

Оператор розміщує кошик для приймання коксу навпроти розвантажувальної печі.

Сигналом до виштовхування коксу є сигнал сирени електровоза або команда приймально-передавальної станції машиніста електровоза. Швидкість руху вагону становить 0,5 м/с.

Кокс може бути завантажений у вагон «по ходу» машиністом електровоза або при наявності туману і поганій видимості в напрямку «по ходу».

Кокс, який надійшов, транспортується для гасіння, а потім вивантажується на рампу.

При затримці подачі коксу більше ніж на 10 хвилин на коксовій печі необхідно встановити дверцята. Не допускається передчасне відкриття кришок і дверей стояка. Це призведе до пошкодження кладки камери та обшивки дверей.

Розжарені шматки коксу, що потрапляють на сервісний майданчик під час зняття дверцят, необхідно видаляти відразу після доставки.

Дверцята коксових печей, армовані рами, пороги і розсувні двері після кожного видавання коксу очищаються від смол і графіту. Очищення дверей і рам проводять до або після видачі коксу. Після очищення «країв» і очищення дверцят і рам від смоли і графіту камера закривається і заповнюється.

Стан ущільнювальних поверхонь дверей і рам, люків, кришок завантажувальних люків і стояків повинен забезпечувати необхідну герметичність камер.

Профілактичне змащування і обприскування дефектів кладки в печі проводять в період обробки печі до і після видачі коксу.

Оператор коксового ежектора повинен точно реєструвати час доставки та завантаження для кожної печі, показання амперметра під час руху коксового піріга [1,2].

За тривалість коксування прийнято проміжок часу від завантаження печі, тобто від подачі струганого прутка до подачі штовхача. Оборотноість печі приймається, як період коксування з урахуванням часу, витраченого у процесі печі, простої камери між операціями пресування та стругання.

З метою забезпечення високої та рівномірної якості коксу, топкове зберігання, видачу коксу необхідно здійснювати за чітким періодичним графіком із дотриманням сталості періоду коксування.

Циклічний графік передбачає поділ обертання печі на батареях або блоках батарей на дві частини: робочу і ремонтну.

На підставі затвердженого виробничого плану, кількості та якості шихти, ваги завантаження, затвердженої швидкості обороту печі та циклового графіка роботи керівництвом коксохімічного виробництва встановлюється добовий змінний виробіток.

Транспортне обладнання. Вугленавантажувальна машина — це машина, яка виконує комплекс операцій із завантаження шихти з вугільних башт і операцій, пов'язаних із подачею шихти і завантаженням її в камеру коксування:

- відкриття та закриття затворів вугільної башти для завантаження шихти в бункери;
- автоматичне заповнення зарядів у вагонні бункери до заданих стандартів;
- контроль зважування при масовому наборі;
- доставка шихти до завантажувальних печей;
- відкриття і закриття завантажувального люка;
- завантажування піч шихтою;
- прискорення підйому зарядів у камеру;
- очищення стояків і колін від графіту;
- керування кришками стояка, гідравлічними клапанами коробки клапанів і клапанами впорскування пари;

- прибирання шихти, що потрапила в піч.

Робота з планування видачі та завантаження коксу під час завантаження автоматизована і виконується за встановленою програмою.

Машина дверного евакуаційного виходу призначена для демонтажу та встановлення коксових дверей, подачі коксового кеку в гартувальні машини, очищення дверей і рам.

Управління всіма механізмами здійснюється з дверей кабіни машини.

Направляюча коксова шина встановлюється на окремому причепі і може розташовуватися праворуч або ліворуч від дверей машини.

Коксова ванна складається з двох бічних стінок, горизонтальних сталевих смуг і дна. Сталева пластина підвішується над верхньою частиною ванни з боку гасіння і сприяє тому, що верхня частина коксового пирога впадає у вагон для гасіння.

Коксовий вагон складається з платформи (рами) з ходовими візками, кузова з розвантажувальними воротами та механізму керування вагоном. Кузов складається з металевого каркаса, скошеного знизу під кутом 28° , а салон облицьований термостійкими плитами.

Коксовий вагон обладнаний механізованою заслінкою для випуску коксу на рампу, пристроєм для гальмування, автоматичного змащення, сигналізації та автоматичного включення насоса для подачі води на гасіння коксу.

Обшивка корпусу виконана з нержавіючої сталі. Основа вагону облицьована пластинами жароміцної сталі.

Для руху вантажних вагонів використовують електровози [1].

Процес тушіння коксу [2] у коксовому вагоні показаний на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Процес тушіння коксу у коксовому вагоні

Можливе тушіння коксу інертними газами – сухе тушіння.

Отриманий кокс сортують по фракціям на коксортуванні.

Зазвичай коксохімічне виробництво розташоване поруч із доменним, кокс доставляється у промислових вагонах – коксовозах до приймальних устроїв доменного цеху.

1.2 Споживання коксу доменним виробництвом

При наявності поруч із доменним виробництвом коксохімічного, кокс подається через конвеєри або залізничним транспортом до бункерів доменного цеху [2,3].

Коксовози мають пневматичну систему розвантаження [4]. Вивантаження здійснюється партіями 9-18 вагонів – в умовах ПАТ «Запоріжсталь». Зазвичай весь кокс споживається через бункери. На рудному дворі створюється запас коксу у вигляді штабелю [5,6]. Але такий спосіб зберігання коксу не є раціональним, оскільки:

- при вивантаженні зі значної висоти він подрібнюється;
- подрібнення відбувається також внаслідок забирання зі штабелю рудним перевантажувачем за допомогою ковшу. Іншого способу передати кокс до приймальних бункерів не існує;
- при забиранні коксу з рудного двору необхідне навантаження вагонів та подальше переміщення вантажу до певної печі. Це потребує ресурсів у вигляді вагонів, локомотивів, вантажників;
- при зберіганні під відкритим небом погіршуються фізико-хімічні властивості коксу.

У разі відсутності постачальника коксу поруч із доменним виробництвом, це паливо доставляється з більш віддалених місць та, окрім втрачання властивостей підчас більш тривалого транспортування, призводить до більшої нерівномірності надходжень через стохастичний характер вантажних потоків на залізниці.

Крім того, для доставки використовується універсальний рухомий склад, не призначений для коксу, однією з особливостей якого є низька насипна щільність.

Тож рухомий склад використовується не так раціонально, як промисловий спеціалізований.

Нерівномірність призводить до необхідності або зберігання коксу на складі при надлишковому надходженні, яке супроводжується втратою та погіршенням властивостей вантажу, або до зберігання «на колесах», та збільшенням плати за користування вагонів, яка сплачується на користь їх власника [6].

1.3 Постановка задач дослідження в умовах зміни умов постачання коксу

Основними недоліками постачання коксу із зовнішньої мережі залізниць є:

- більша, у порівнянні із місцевими перевезеннями, нерівномірність постачань;
- більш низький коефіцієнт використання вантажопідйомності універсальних вагонів у порівнянні з коксовозами.

Пропонується створити імітаційну модель доставки коксу магістральним транспортом та завдяки експериментам на ній визначити найбільш оптимальні параметри функціонування транспортної системи доставки коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз інтенсивності вантажопереробки коксу

В дійсний час виробничі процеси здійснюються лише на двох доменних печах, виробництво продукції комбінату за жовтень 2022 року склало:

- 157,0 тисяч тонн чавуну;
- 121,8 тисяч тонн сталі;
- 101,3 тисяч тонн металопрокату.

На одну тону чавуну при виробництві витрачається 0,4 т доменного коксу, тож потреба у паливі становила:

$$157000 \cdot 0,4 = 62800 \text{ тонн коксу.}$$

У жовтні 2022 року на підприємство фактично надійшло 74000 т коксу. З урахуванням можливого зростання обсягів виробництва після розконсервування підприємства, ґрунтуючись на показниках – 6% у жовтні у порівнянні з вереснем, 14% - у порівнянні з липнем, передбачаємо можливий приріст у 10% та орієнтуємось на показник 70000 тонн споживання коксу на місяць.

Робота спрямована на організацію доставки коксу виключно магістральним транспортом у випадку унеможливлення постачань з Запоріжжя, оскільки ситуація в країні залишається складною.

За таких умов інтенсивність надходження сировини буде характеризуватись більшою нерівномірністю.

Відомо, що даний процес є стохастичним, та, зазвичай, інтервали часу надходження составів описуються експоненціальним усіченим законом розподілу.

На підставі даних надходження коксу на підприємство у минулі роки із зовнішньої мережі залізниць України, визначимо середній рівень завантаження вагонів, оскільки за проєктом замість промислових вагонів-коксовозів будуть використовуватись універсальні напіввагони. Об'єм їх кузовів менший, а, оскільки за насипною щільністю кокс відноситься до категорії легких вантажів, показник середнього завантаження транспортних засобів буде знижений.

Зібрані статистичні дані у кількості 120 спостережень представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз рівня завантаження напіввагонів коксом

Номер вагону	Вантажо- підйомність, т	Тара вагону, т	Маса вантажу, т	Використання вантажо- підйомності вагону, %
1	2	3	4	5
52951969	69	23,8	48,2	70
60635844	70	23,7	47,9	68
61158945	70	24	44,9	64
61442638	70	24	44,8	64
53132478	70	23,1	42,3	60
56675515	70	23,5	42,5	61
52735560	70	23,6	42,8	61
53451050	70	23,3	40,1	57
52728037	70	23	43,4	62
67922732	71	23	42,3	60
60019981	71	23	43,9	62
65739922	69	22,2	44,3	64
67855759	69	23,1	43,5	63
56471139	70	23,5	44,5	64
53530143	69	23,1	42,4	61
56957368	69	22,2	38,5	56
60636651	70	23,7	47,9	68
65383812	69	24,5	46,5	67
64598147	69	22,8	42,3	61

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
67704965	69	22,85	48,6	70
60631587	69,5	24	46,6	67
61998464	70	23,7	43,3	62
65708034	69	21,45	42,5	62
67164434	69	22,25	42,35	61
67874545	69	21,7	44,1	64
63852065	71	22,3	43,5	61
67145615	69	22,1	41,9	61
67895052	71	21,55	44,75	63
60637170	70	23,7	46,6	67
53510905	69	22,2	39,2	57
60636172	70	23,7	49	70
53535357	69	22,2	40,6	59
56671969	70	23,6	40,5	58
52736568	70	23,5	40,9	58
60662483	69	22,2	40,5	59
65385247	69	25	46,1	67
66697541	69	22,2	41,8	61
67175638	69	23,2	42,8	62
53501516	69	23	41	59
60461241	70	23,3	42,8	61
60726221	70	23,5	40,3	58
56682412	70	23,5	40,2	57
56672256	70	23,6	41,9	60
53543302	70	23,5	40,4	58
53484978	70	23,3	39,9	57
52740891	70	23,7	44	63
52984499	70	23,2	42,8	61
53572202	70	23,4	41,9	60
52737012	70	23,6	40,6	58
53517033	70	23,5	40,7	58
52877289	70	23,2	41,9	60
56940190	70	23,4	42,4	61
53578191	70	23,4	40,7	58
52740669	70	23,8	44,4	63
56822075	70	23,5	42,1	60
56855539	70	23,3	42,7	61
52740404	70	23,7	45,4	65
60032018	70	23,4	43	61
56533763	69	22,4	41,6	60

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
55618540	70	23,4	41,8	60
56438153	69	21,8	42,1	61
56185127	69	21,8	41,8	61
53506119	69	22,2	39,1	57
53132502	70	23,1	44,468	64
55968705	70	24	49,034	70
59952085	70	23,5	42,652	61
61259859	69,5	24,1	48,256	69
60795846	69	22,5	44,001	64
56691595	70,3	23,6	50,435	72
62047089	69,5	24,2	45,551	66
55023097	69,5	24,2	48,248	69
56826514	69,5	24,3	46,9	67
53589594	70	23,5	41,4	59
65948564	69	25	46,8	68
65297038	69	24,35	47,6	69
63243174	70	22,2	43,45	62
65384281	69	24,2	49,55	72
67912428	71	20,7	45,4	64
67653923	69	23,1	49,65	72
66711854	69	22,4	44,65	65
66628165	69	21,55	44	64
67705657	69	23,25	48,75	71
67870568	69	21,7	41,8	61
60525649	69	23,95	48,75	71
67381632	69	21,05	41,55	60
65283038	69	23,3	47,7	69
67702076	69	23,55	46,95	68
66241472	69	23,9	47,9	69
58584954	70	23,7	41,971	60
63637409	69	23,1	39,324	57
54010061	70	23,5	41,919	60
56074255	70	23,5	41,245	59
57879074	69,5	24	46,692	67
52952637	69	23,8	46,899	68
56220858	70	23,4	47,833	68
63667927	69	21,4	41,1	60
65057614	69	24,9	39,584	57
53466041	70	23,4	41,6	59
52726023	70	23,6	39,6	57

Кінець таблиці 2.1

1	2	3	4	5
53572657	70	23,5	42,4	61
56672181	70	23,5	42,5	61
53551347	69	21,8	43,2	63
67704189	69	24,7	46,3	67
60655255	69	21,2	39,1	57
65396772	70	23,5	48	69
66706912	69	22,2	41,4	60
60486719	69	23,8	42,7	62
61443727	70	24	44,8	64
54024724	70	23,3	44,6	64
61965778	70	24	46,1	66
59784041	70	23,8	43,2	62
67363283	69	21,25	42,25	61
65238321	69	21,2	44,15	64
65438186	71	21,05	43,9	62
63351761	70	21,35	43,55	62
65697542	69	20,95	41,4	60
67894410	71	22,1	45,75	64
53517405	70	23,6	43,1	62
53548277	69,5	24,3	47,7	69
53577797	70	23,4	40,4	58
Середнє значення показника, т	69,6	23,1	43,7	62,8

Проаналізуємо розподіл випадкових значень завантаження напіввагонів коксом, представлених у вигляді ряду:

48,2; 47,9; 44,9; 44,8; 42,3; 42,5; 42,8; 40,1; 43,4; 42,3; 43,9; 44,3; 43,5;
 44,5; 42,4; 38,5; 47,9; 46,5; 42,3; 48,6; 46,6; 43,3; 42,5; 42,35; 44,1; 43,5; 41,9;
 44,75; 46,6; 39,2; 49; 40,6; 40,5; 40,9; 40,5; 46,1; 41,8; 42,8; 41; 42,8; 40,3; 40,2;
 41,9; 40,4; 39,9; 44; 42,8; 41,9; 40,6; 40,7; 41,9; 42,4; 40,7; 44,4; 42,1; 42,7; 45,4;
 43; 41,6; 41,8; 42,1; 41,8; 39,1; 44,468; 49,034; 42,652; 48,256; 44,001; 50,435;
 45,551; 48,248; 46,9; 41,4; 46,8; 47,6; 43,45; 49,55; 45,4; 49,65; 44,65; 44; 48,75;
 41,8; 48,75; 41,55; 47,7; 46,95; 47,9; 41,971; 39,324; 41,919; 41,245; 46,692;

46,899; 47,833; 41,1; 39,584; 41,6; 39,6; 42,4; 42,5; 43,2; 46,3; 39,1; 48; 41,4; 42,7; 44,8; 44,6; 46,1; 43,2; 42,25; 44,15; 43,9; 43,55; 41,4; 45,75; 43,1; 47,7; 40,4.

Розташуємо дані за зростанням:

38,5; 39,1; 39,1; 39,2; 39,324; 39,584; 39,6; 39,9; 40,1; 40,2; 40,3; 40,4; 40,4; 40,5; 40,5; 40,6; 40,6; 40,7; 40,7; 40,9; 41; 41,1; 41,245; 41,4; 41,4; 41,4; 41,55; 41,6; 41,6; 41,8; 41,8; 41,8; 41,8; 41,9; 41,9; 41,9; 41,9; 41,919; 41,971; 42,1; 42,1; 42,25; 42,3; 42,3; 42,3; 42,35; 42,4; 42,4; 42,4; 42,5; 42,5; 42,5; 42,652; 42,7; 42,7; 42,8; 42,8; 42,8; 42,8; 43; 43,1; 43,2; 43,2; 43,3; 43,4; 43,45; 43,5; 43,5; 43,55; 43,9; 43,9; 44; 44; 44,001; 44,1; 44,15; 44,3; 44,4; 44,468; 44,5; 44,6; 44,65; 44,75; 44,8; 44,8; 44,9; 45,4; 45,4; 45,551; 45,75; 46,1; 46,1; 46,3; 46,5; 46,6; 46,6; 46,692; 46,8; 46,899; 46,9; 46,95; 47,6; 47,7; 47,7; 47,833; 47,9; 47,9; 47,9; 48; 48,2; 48,248; 48,256; 48,6; 48,75; 48,75; 49; 49,034; 49,55; 49,65; 50,435.

Кількість інтервалів групування відповідно до відомої формули Стерджеса [6,7]:

$$1 + 3,2 \lg (102) = 7,65 = 8.$$

Діаграма щільності ймовірності розподілу значень завантаження коксом магістральних напівагонів показана на рисунку 2.1.

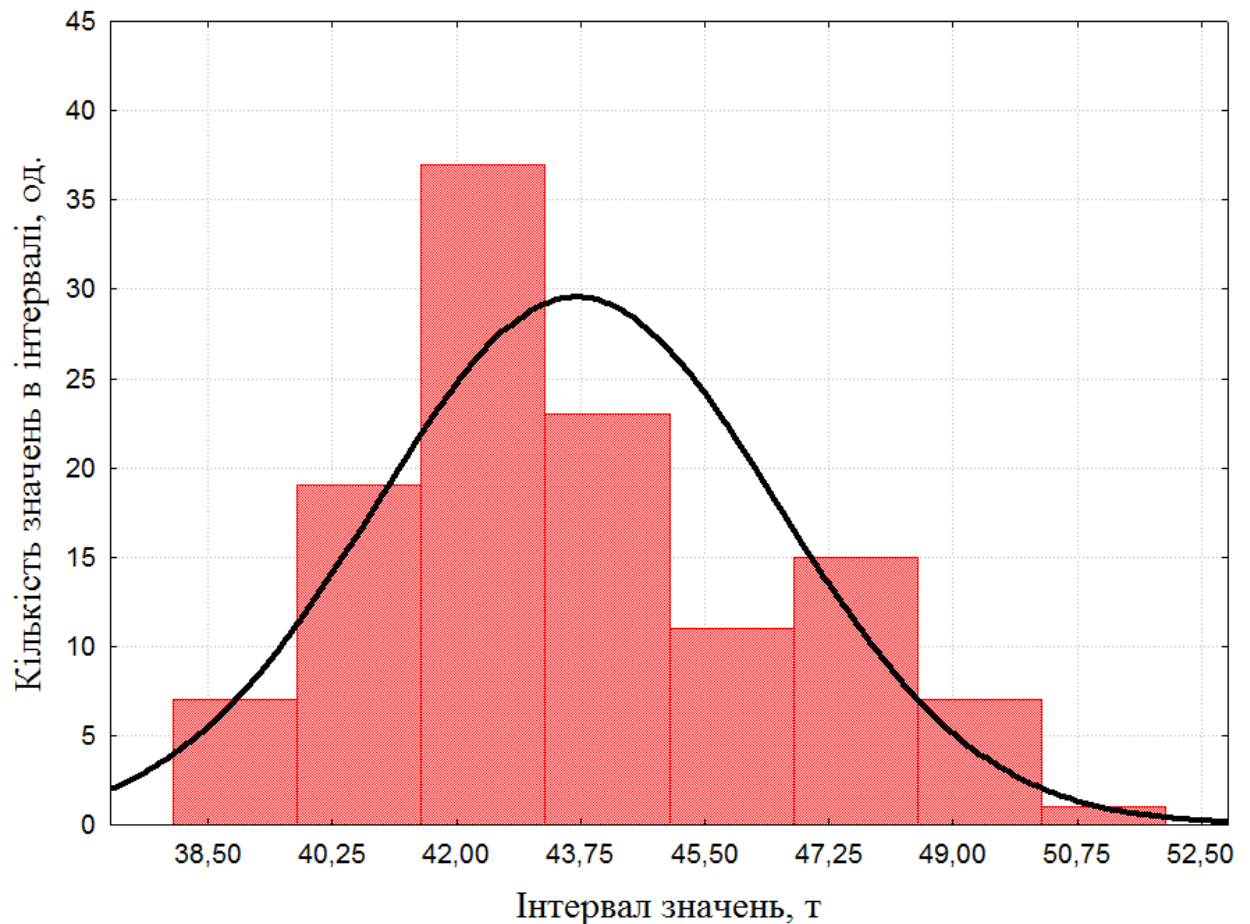


Рисунок 2.1 – Діаграма щільності ймовірності розподілу значень
завантаження коксом магістральних напіввагонів

Відповідно до візуального аналізу та за критеріями згоди, розрахованими в програмному пакеті «Статистика», розподіл певною мірою відповідає нормальному.

Для визначення кількості вагонів з коксом, які надходять у складі поїздів зі станції Запоріжжя-Ліве, виконаємо аналіз їх розподілу – показаний на рисунку 2.2.

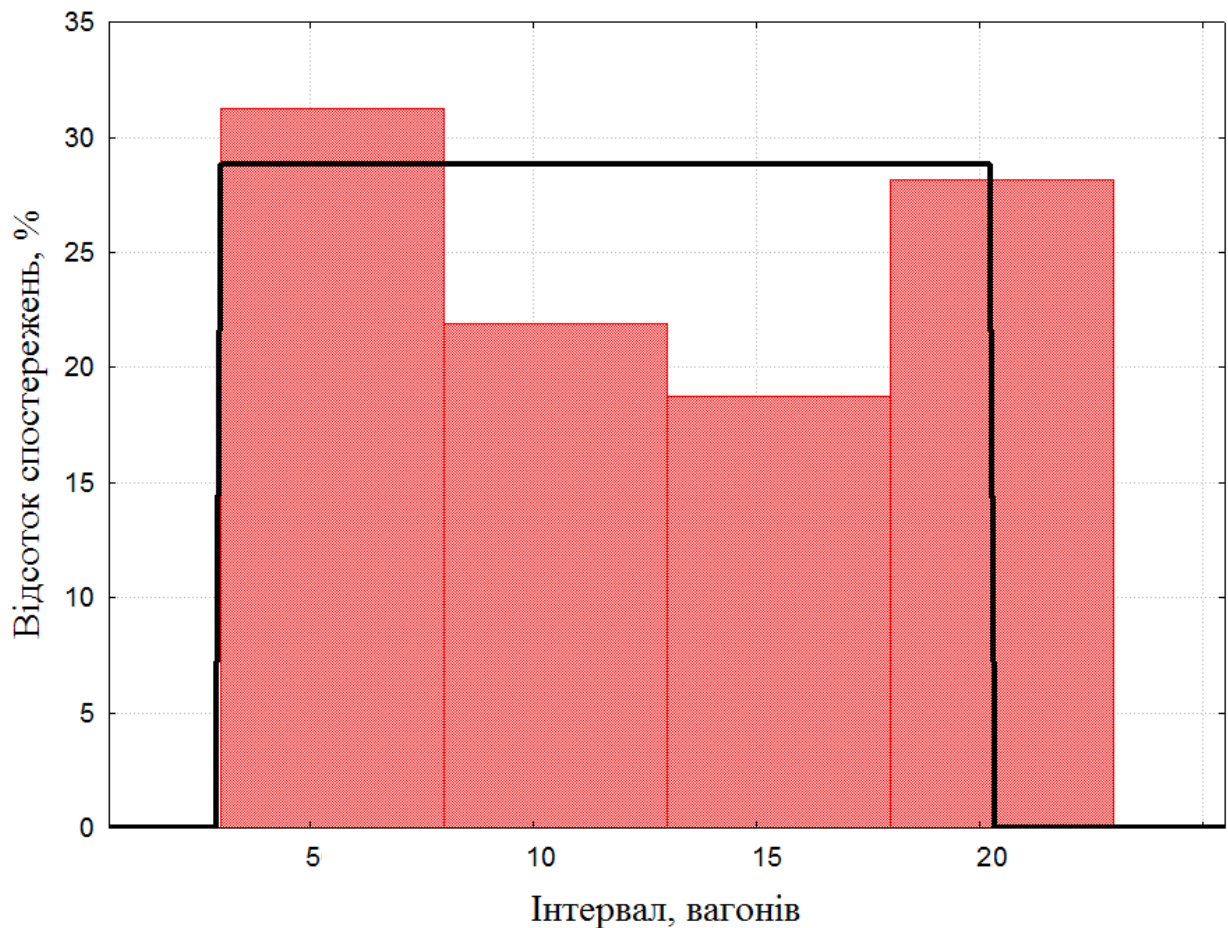


Рисунок 2.2 – Діаграма щільності ймовірності розподілу значень кількості магістральних напіввагонів з коксом

Найбільше підходить для опису в моделі рівномірний закон розподілу за параметрами:

- мінімальне значення – 5 вагонів;
- максимальне значення – 20 вагонів.

Таким чином, можна переходити до розробки імітаційної моделі [7], в якій буде відбуватись генерація одночасно інтервалу надходження составів з коксом та кількості вагонів у них.

2.2 Модель вантажопереробки коксу

Загальна модель вантажопереробки коксу при його надходженні з магістральних шляхів залізниць виглядає наступним чином – показана на рисунку 2.3.

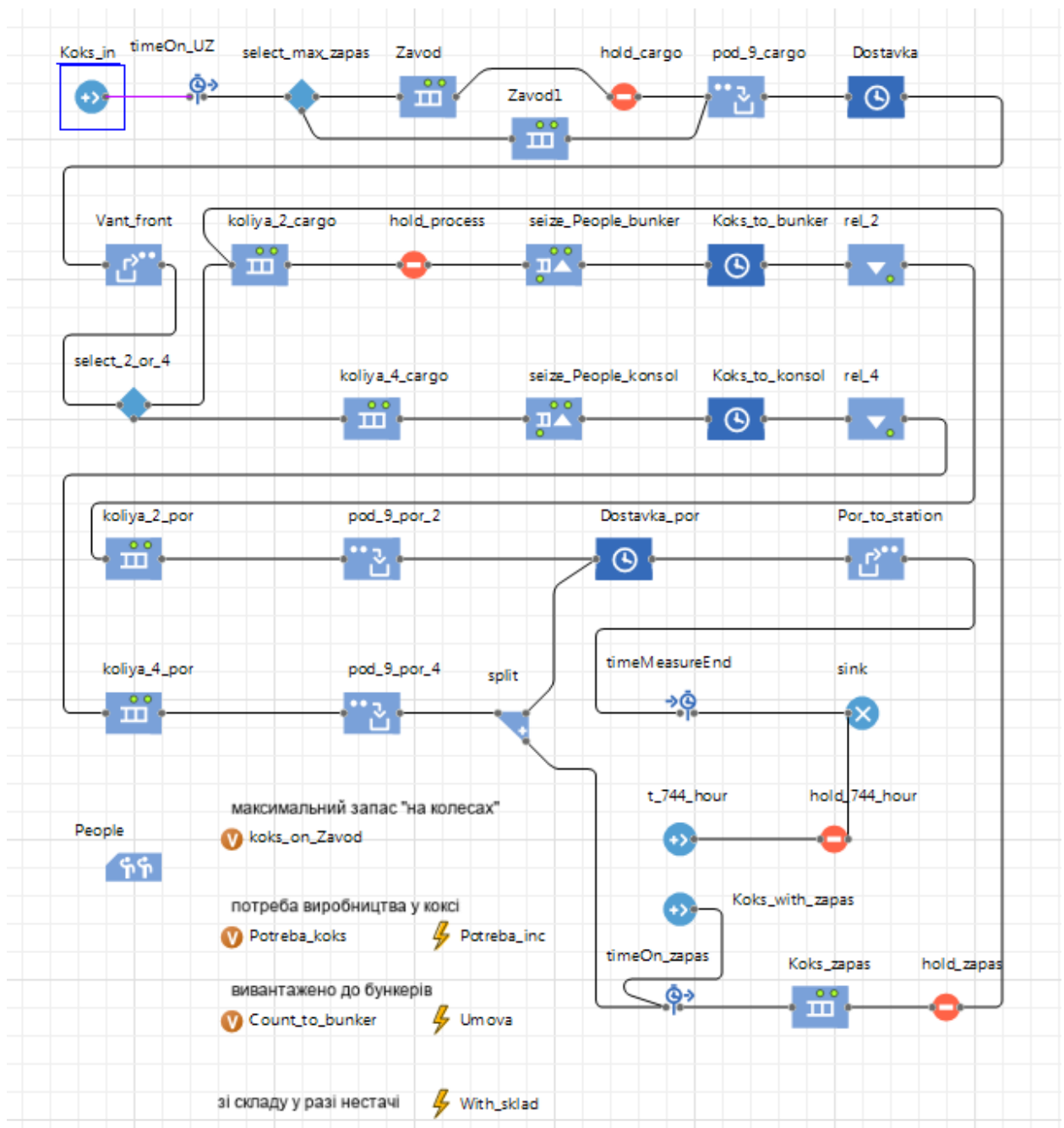


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд моделі вантажопереробки коксу

За структурою модель складається з трьох основних ланцюгів процесів та допоміжних об'єктів управління моделюванням:

- ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу;
- ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом – до приймальних бункерів цеху;
- ланцюг процесів вивантаження коксу на склад.

Надалі проаналізуємо роботу моделі по всіх означених структурних частинах.

2.2.1 Ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу

Ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу виділений на рисунку 2.4.

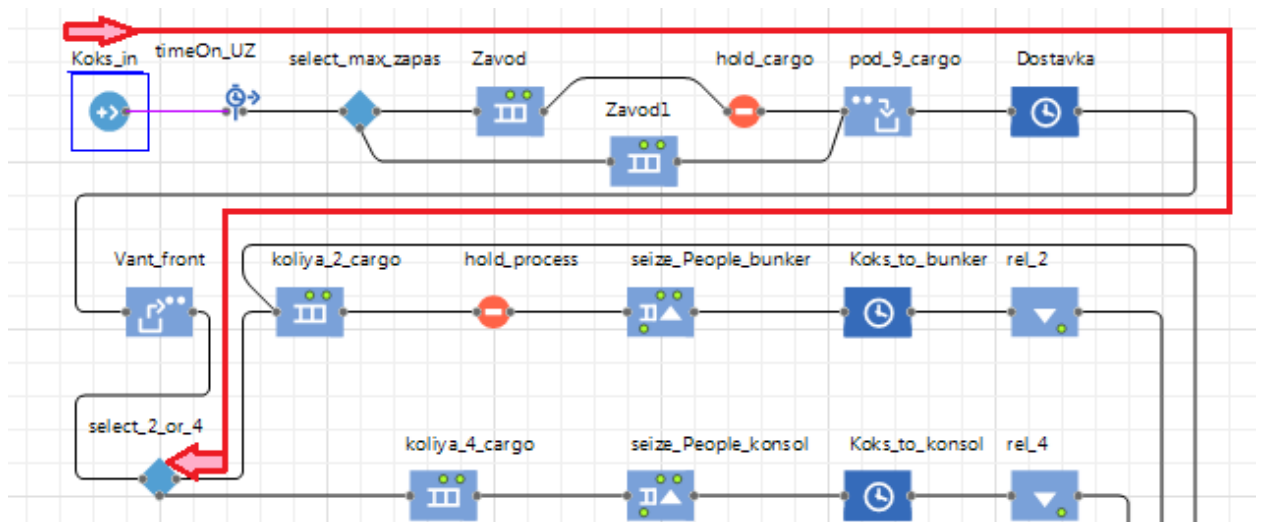


Рисунок 2.4 – Ланцюг попередньої підготовки до вивантаження коксу

Об'єкт Koks_in – рисунок 2.5 – імітує надходження завантажених коксом вагонів з Укрзалізниці:

- інтервал часу задається експоненціальним розподілом з параметрами exponential (2, 12, 0, 7.95), де перше значення – мінімальний технологічний інтервал передачі, друге – максимальний інтервал – не перевищує тривалості зміни, третє – зсув розподілу, не передбачений у моделі, останнє значення – середнє значення інтервалу;
- кількість вагонів у составі задається виразом uniform_discr (5, 20) – рівномірним розподілом з визначеними раніше мінімальною та максимальною межами – від 5 до 20 вагонів.

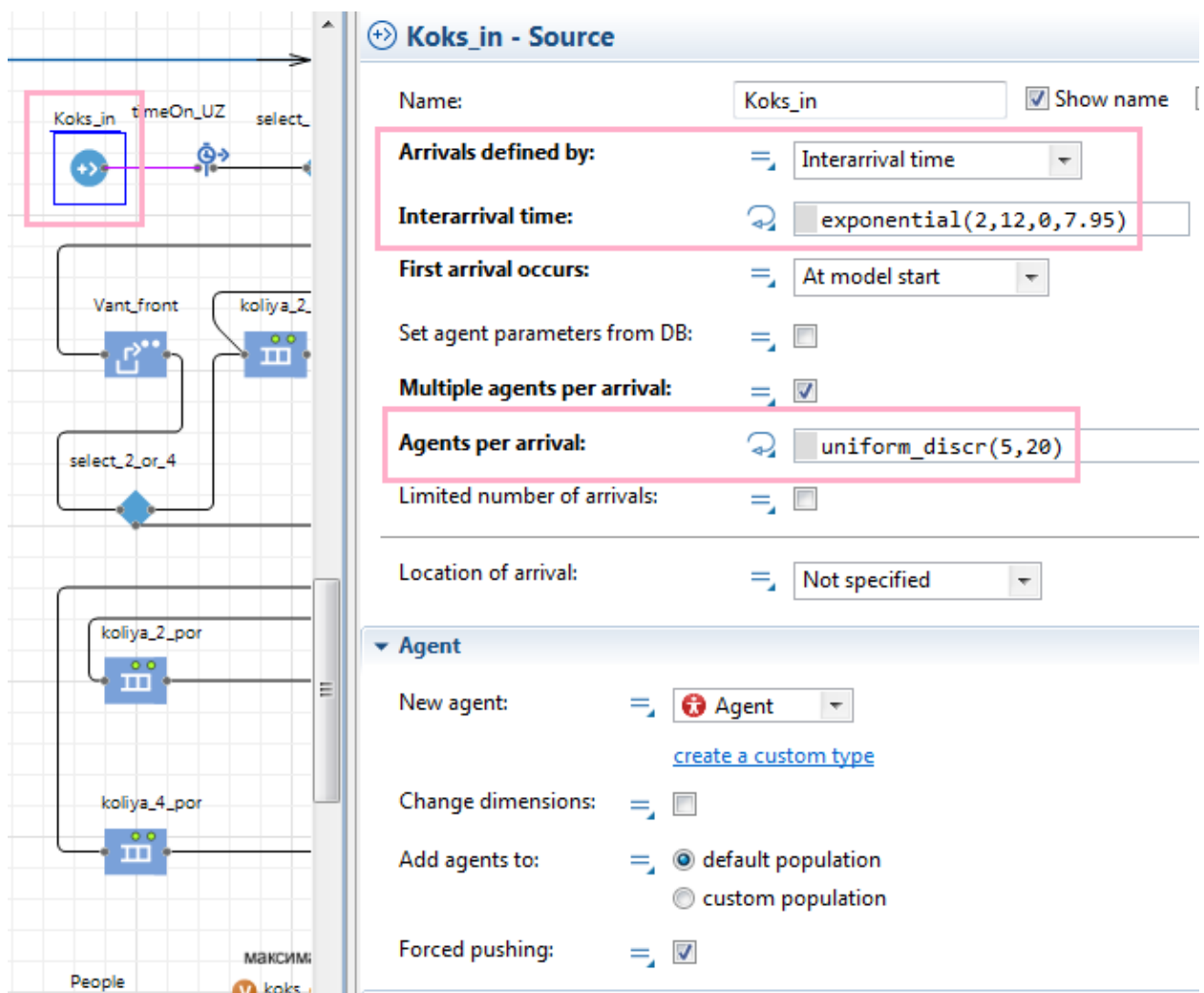


Рисунок 2.5 – Параметри об'єкту Koks_in

Середнє значення інтервалу надходження коксу визначено відповідно до розрахункового обсягу – 70000 тонн на місяць, що, при середньому навантаженні вагонів на рівні 43,7 т/вагон, відповідає обсягу в 1602 вагони на місяць.

Прогони моделі заплановано виконувати за період – 31 календарний день. При калібруванні моделі було відкориговане значення інтервалу з необхідною точністю – рисунок 2.6.

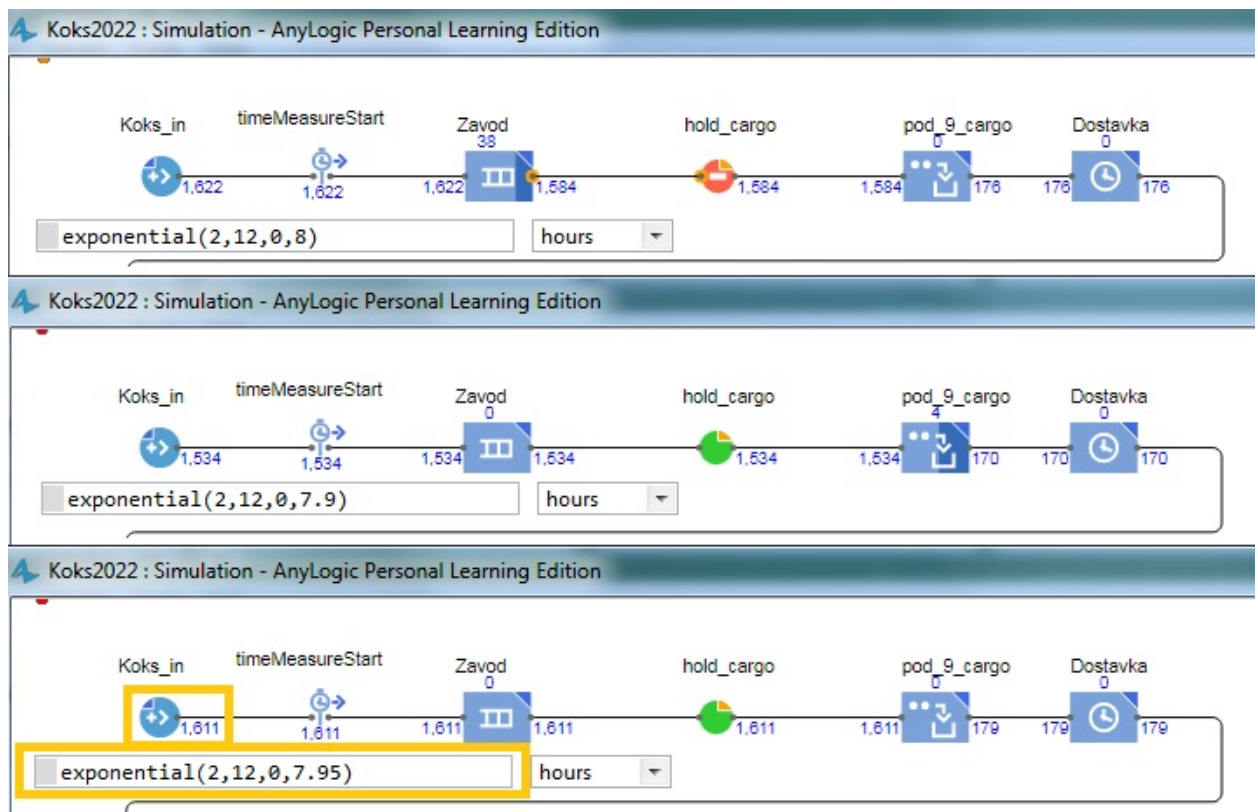


Рисунок 2.6 – Калібрування моделі

Наступний після Koks_in об'єкт timeOn_UZ виконує функцію фіксації часу надходження вагонів з коксом – рисунок 2.7.

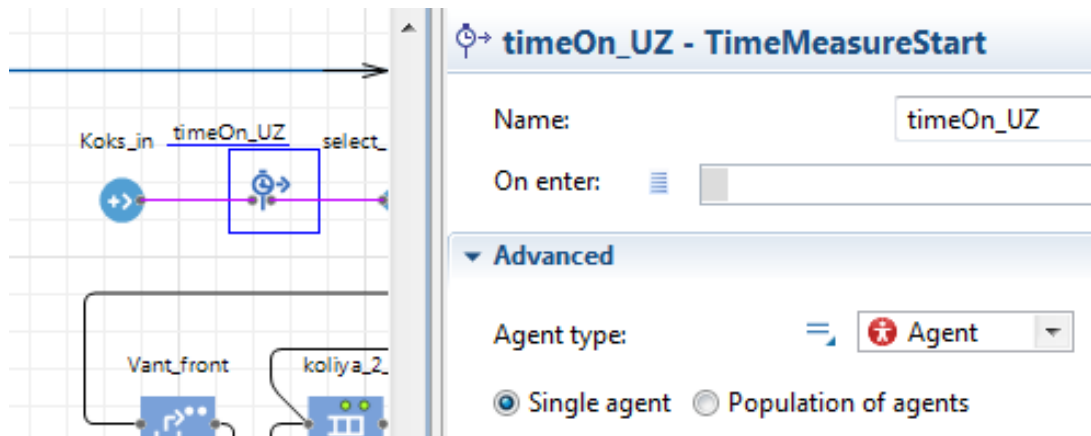


Рисунок 2.7 – Об'єкт timeOn_UZ

Наступний після timeOn_UZ – об'єкт select_max_zapas – виконує розподіл вагонів відповідно до вимоги, показаної на рисунку 2.8. Вагони спрямовуються до колій накопичення встановленого розміру запасу (об'єкт типу черга Zavod), а лише при досягненні цієї величини – спрямовуються до вивантаження (об'єкт типу черга Zavod1).

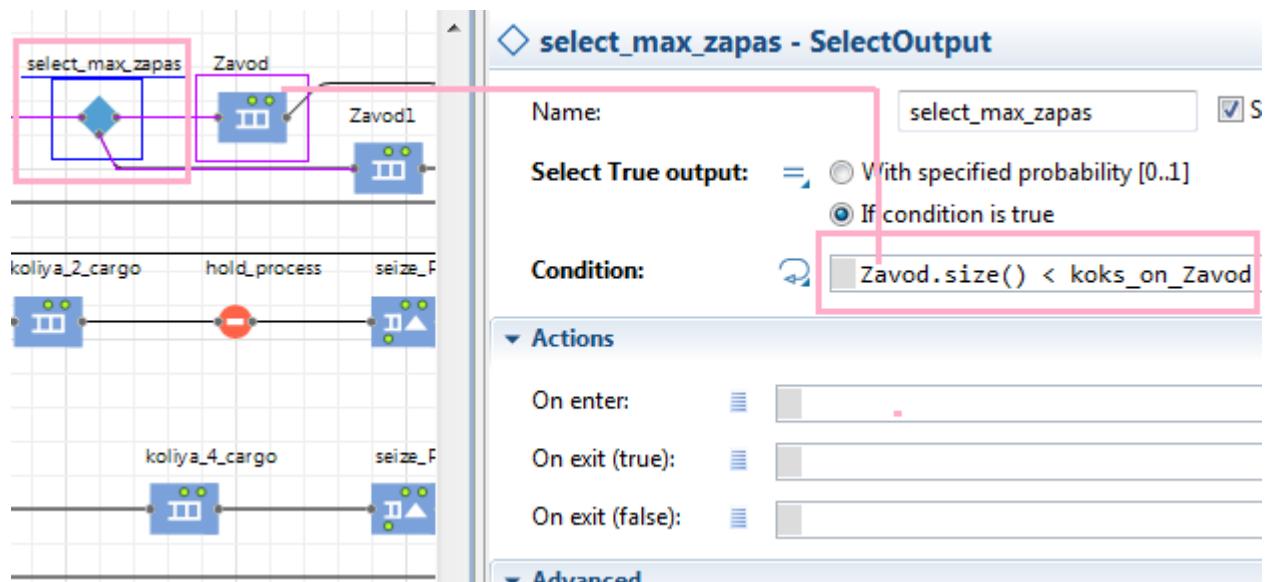


Рисунок 2.8 – Об'єкт select_max_zapas

Об'єкт Zavod – має параметр максимального розміру, який задається змінною koks_on_Zavod, що показано на рисунках 2.9 та 2.10.

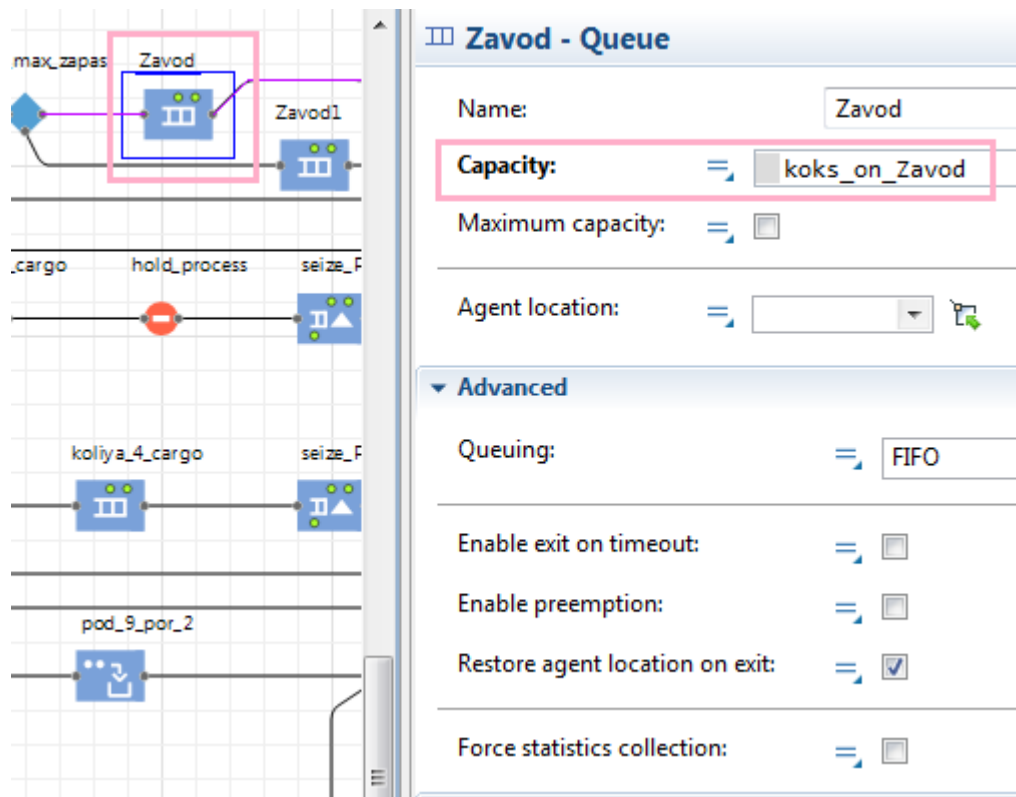


Рисунок 2.9 – Об'єкт Zavod – черга

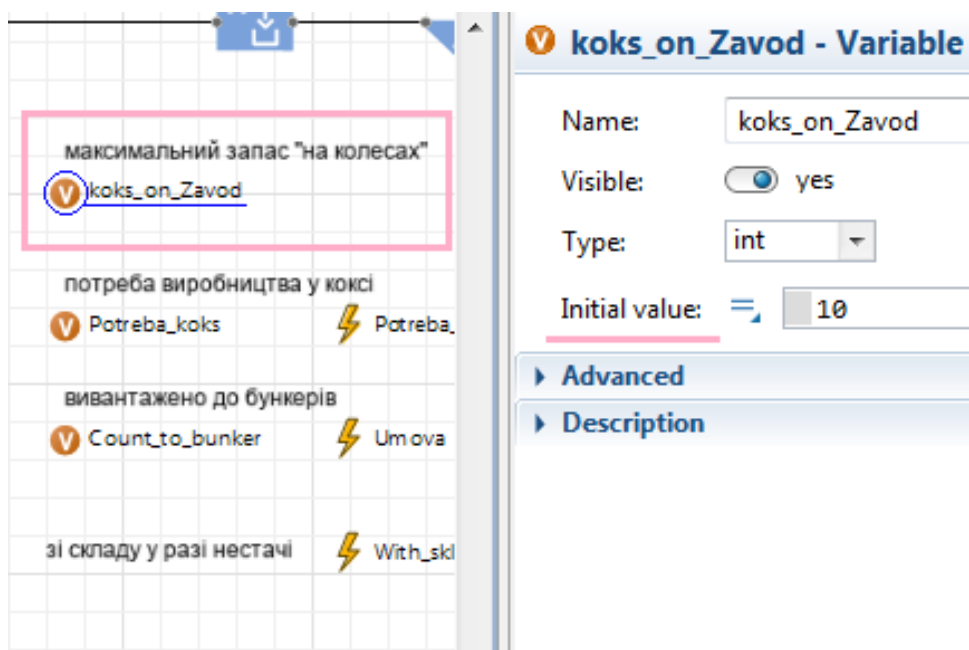


Рисунок 2.10 – Об'єкт koks_on_Zavod - змінна

Об'єкт `hold_cargo` (рисунк 2.11) виконує блокування вагонів з коксом у черзі `Zavod` з метою накопичення до визначеного розміру запасу. Блокування здійснюється за наявності вагонів у вхідному елементі ланцюга вивантаження до бункерів цеху, розблокування здійснюється елементом типу подія – `Умова`, який буде описаний пізніше.

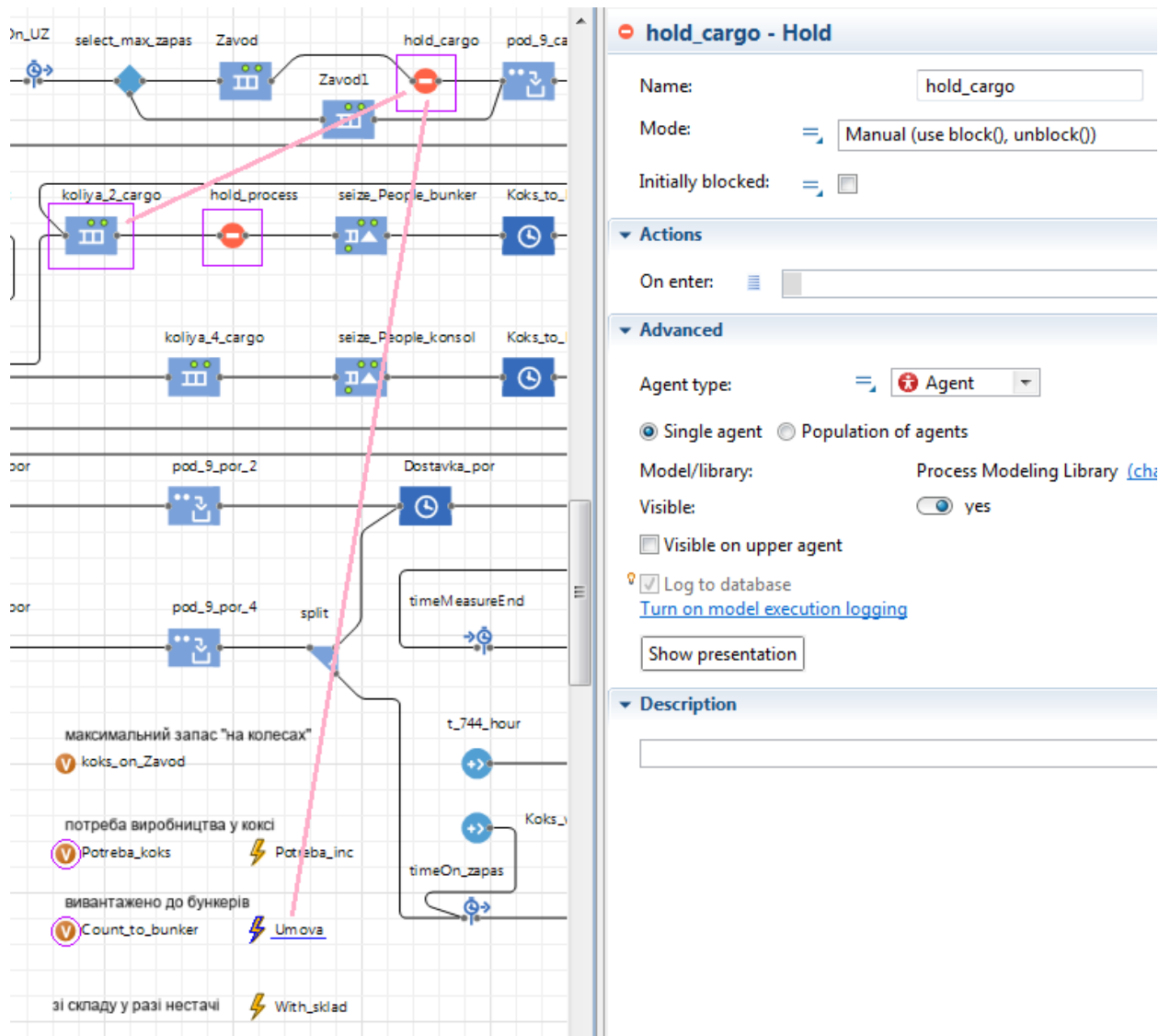


Рисунок 2.11 – Об'єкт `hold_cargo`

Параметри об'єкту `Zavod1` показані на рисунку 2.12, розмір черги встановлено у максимальному розмірі.

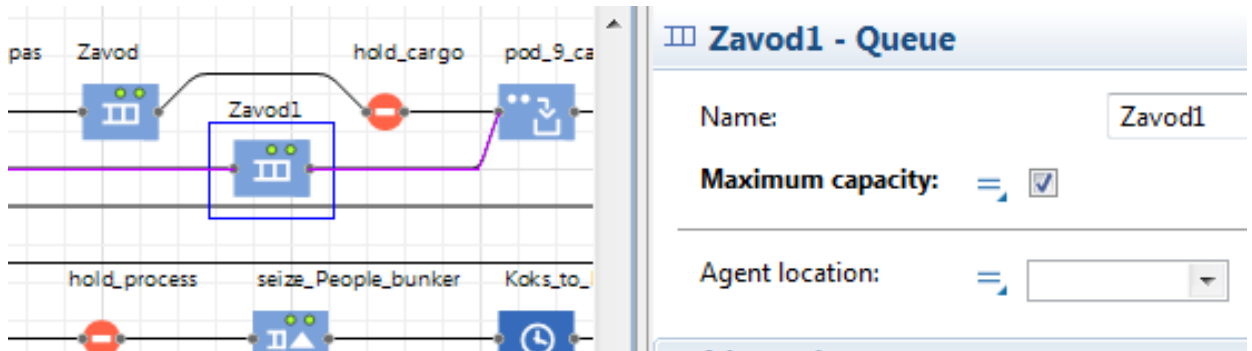
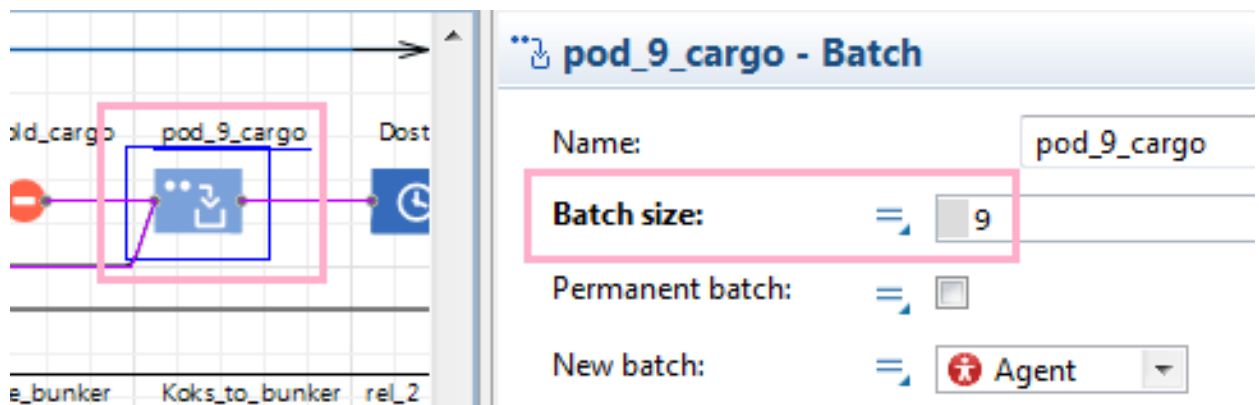


Рисунок 2.12 – Об'єкт Zavod1

Об'єкт `pod_9_cargo` створює групи-партії вагонів з коксом у визначеному технічно-розпорядчим актом розмірі – 9 вагонів, що показано на рисунку 2.13.

Рисунок 2.13 – Об'єкт `pod_9_cargo`

Об'єкт `Dostavka` – рисунок 2.14 – здійснює затримку руху замовлень відповідно до часу руху по перегону та з'єднувальним коліям при маневрах на станціях, пов'язаних з прийманням-відправленням.

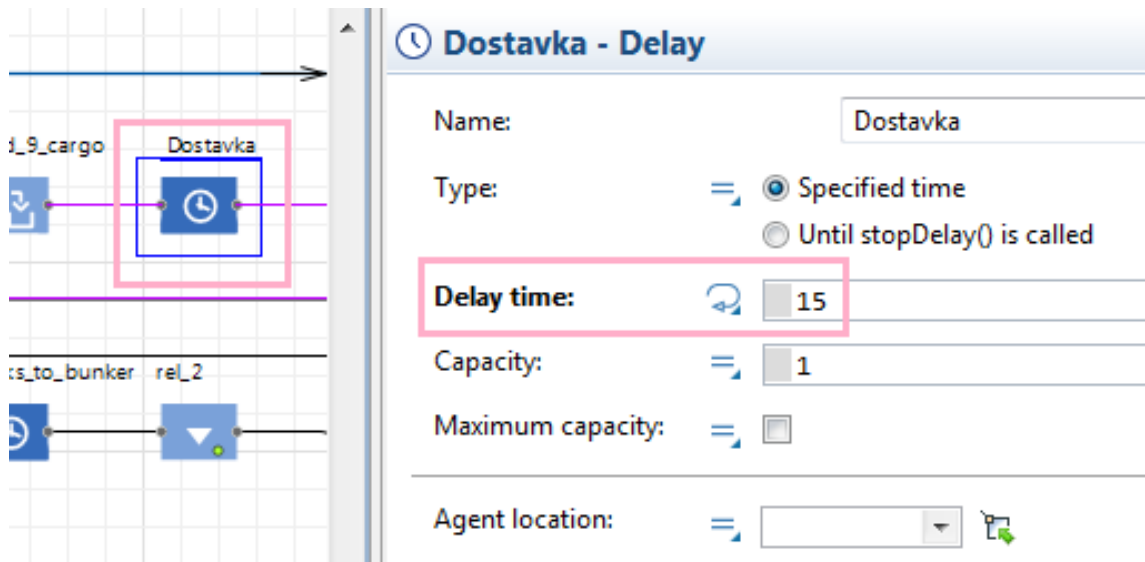


Рисунок 2.14 – Об'єкт Dostavka

Наступним у ланцюгу підготовки до вивантаження є об'єкт Vant_front, який розгрупує партію у 9 вагонів та передає їх до наступного ланцюга, який описує процес вивантаження на бункерах.

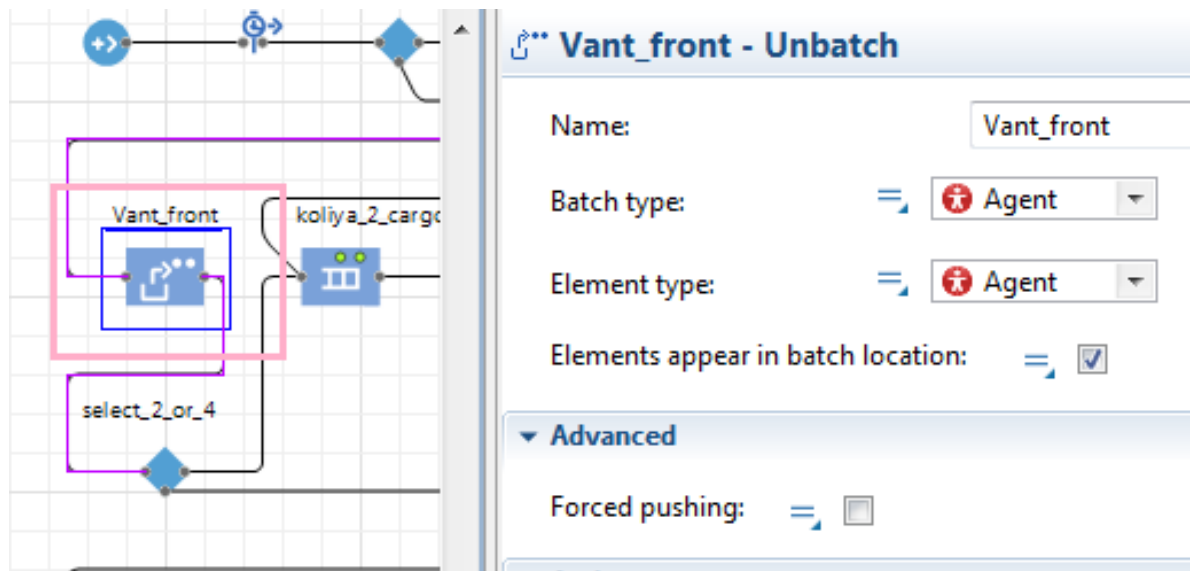


Рисунок 2.15 – Об'єкт Vant_front

2.2.2 Ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом

Ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом – до приймальних бункерів цеху показаний на рисунку 2.16.

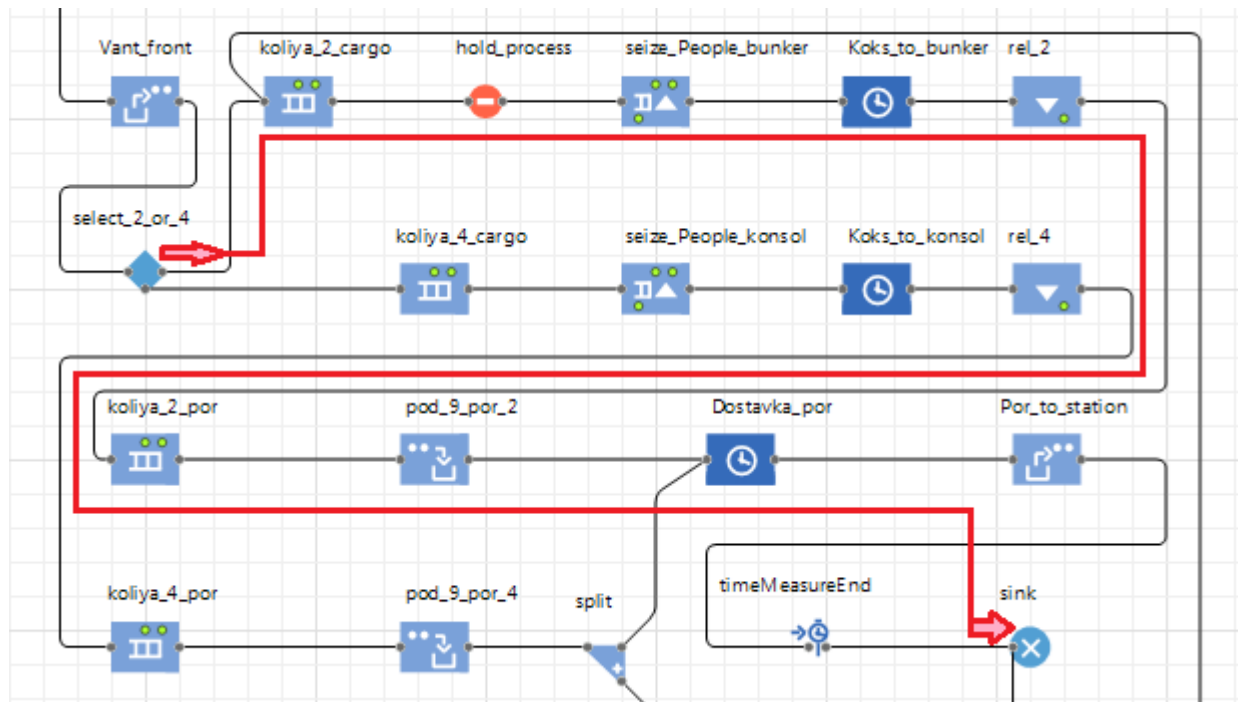


Рисунок 2.16 – Ланцюг процесів вивантаження коксу за прямим варіантом

Перший об'єкт `select_2_or_4` здійснює направлення вагонів відповідно до виконання вимоги, зазначеної на рисунку 2.17:

- у разі перевищення потреби у коксі над обсягами вивантаження, вагони спрямовуються до ланцюга вивантаження за прямим варіантом – на колію 2 бункерів;
- у разі не перевищення потреби у коксі над обсягами вивантаження, вагони спрямовуються до ланцюга вивантаження на склад коксу на рудний двір – через консольну колію 4 бункерів.

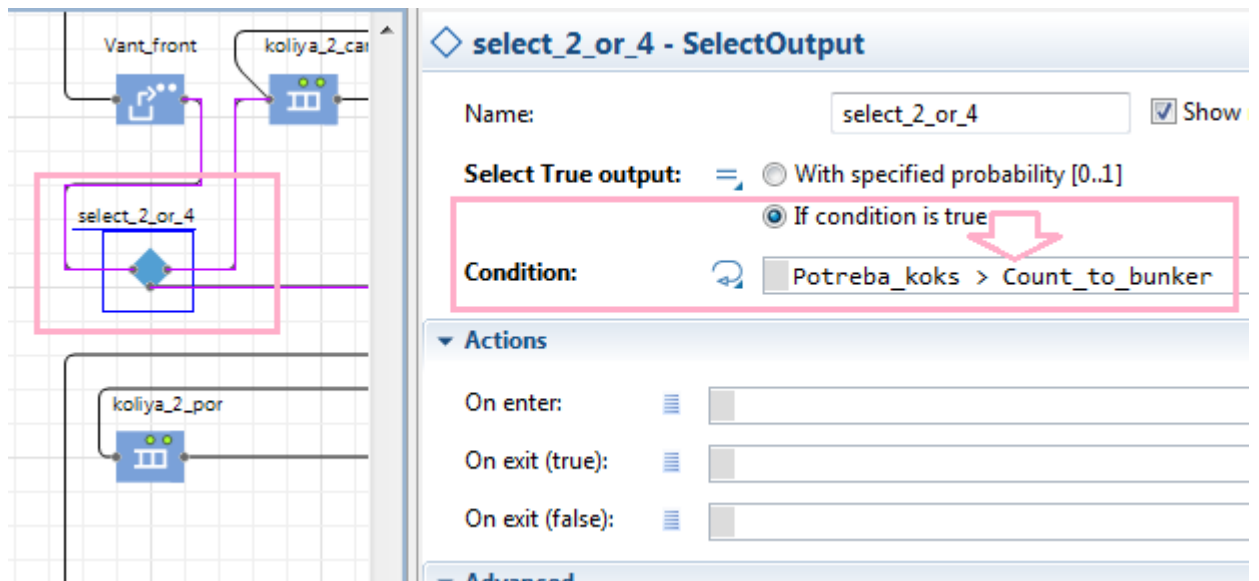
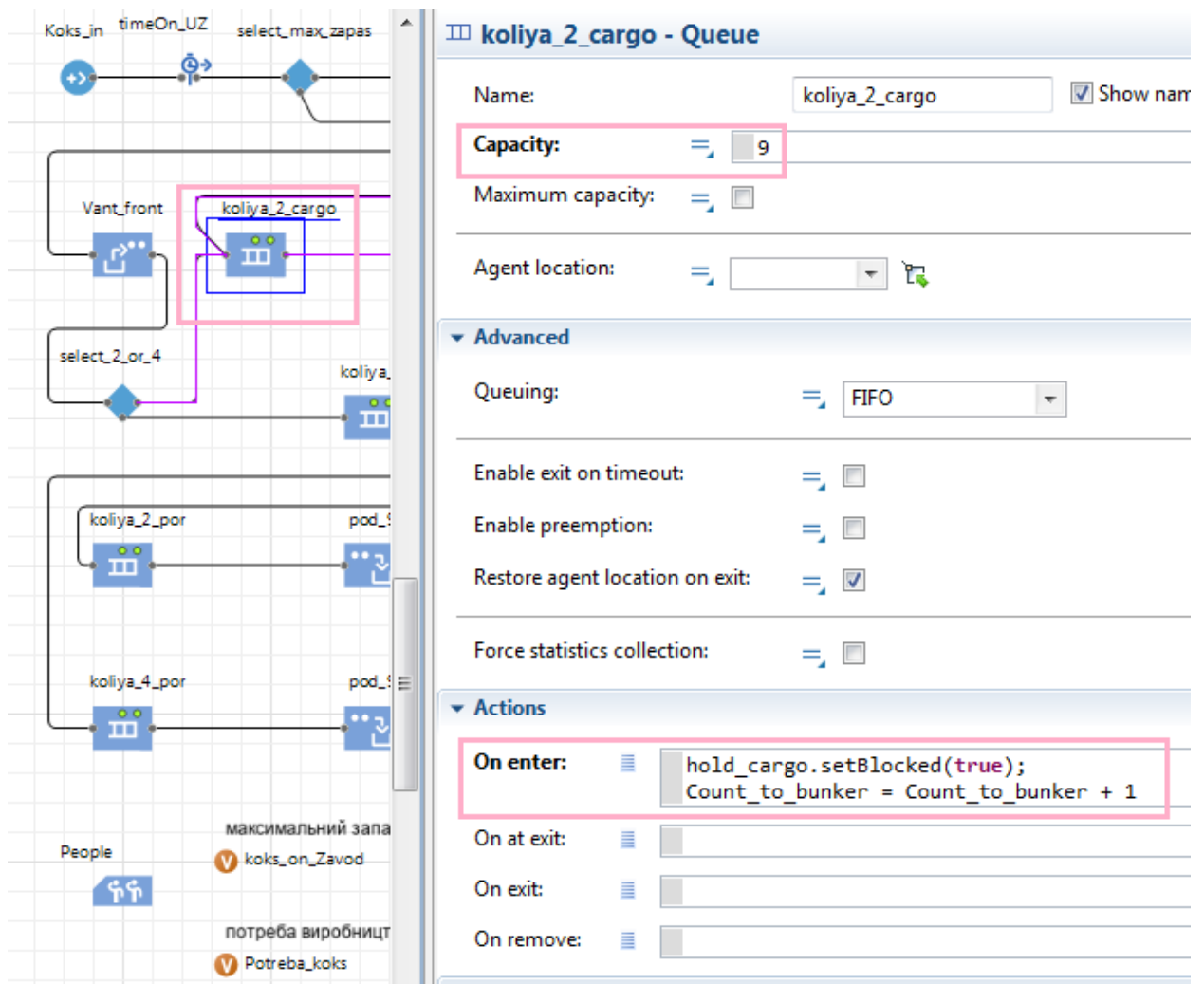


Рисунок 2.17 – Об'єкт select_2_or_4

Наступний об'єкт `koliya_2_cargo` показаний на рисунку 2.18.

Рисунок 2.18 – Об'єкт `koliya_2_cargo`

Даний об'єкт є чергою, розмір якої відповідає розміру складу вагонів – 9 одиниць. При вході до нього блокується вихід вагонів з черги запасу:

```
hold_cargo.setBlocked(true).
```

Крім того, збільшується значення лічильника вивантажених до бункерів вагонів:

```
Count_to_bunker = Count_to_bunker + 1.
```

Вихід з цієї черги блокується об'єктом hold_process при виконанні умови, зазначеної в об'єкті Umova (тип – подія) – рисунок 2.19. Об'єкт hold_process показаний на рисунку 2.20.

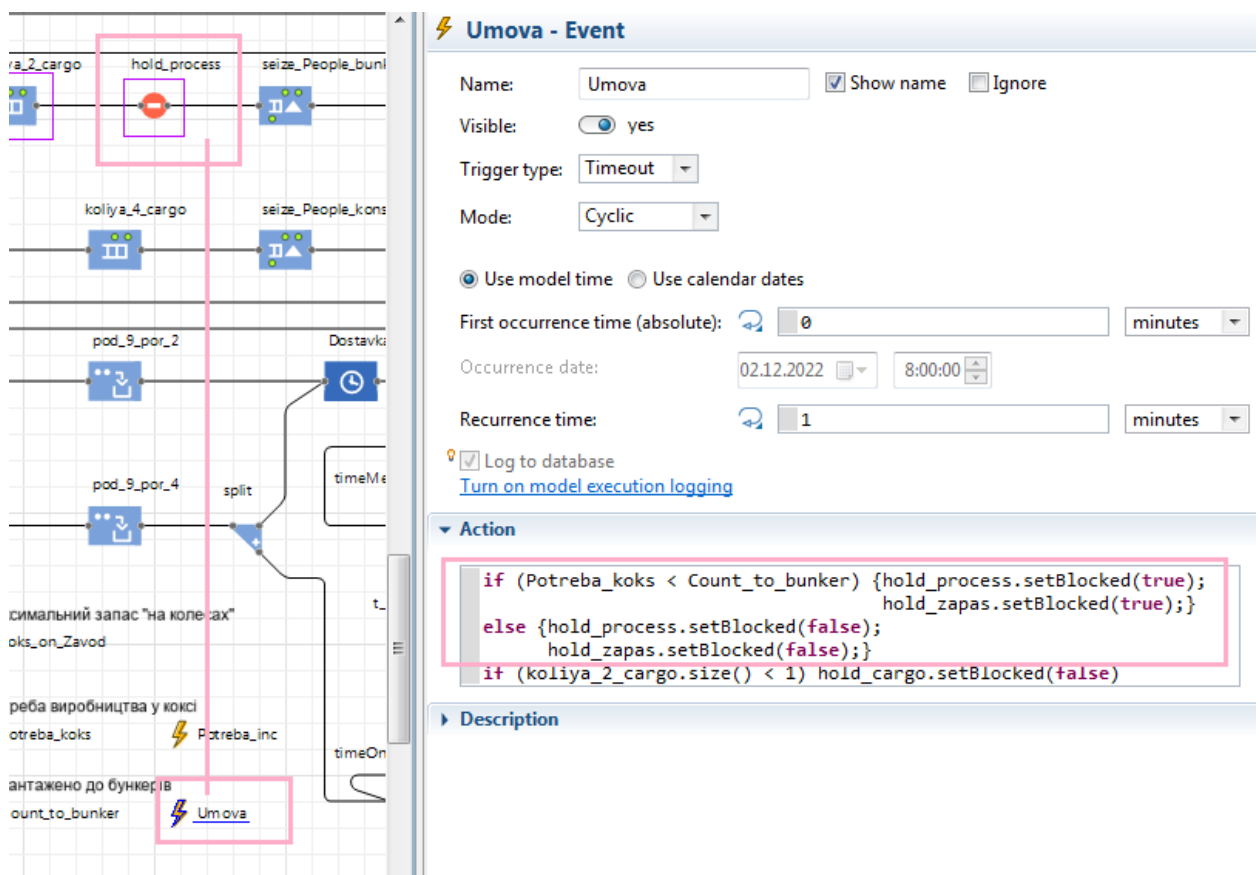


Рисунок 2.19 – Об'єкт Umova

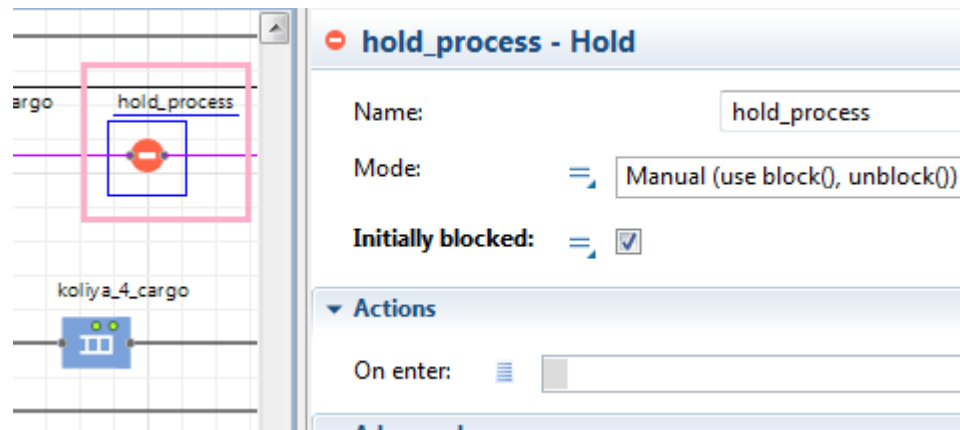


Рисунок 2.20 – Об'єкт hold_process

Наступний об'єкт seize_People_bunker – рисунок 2.21 – приєднує до кожного вагону ресурс People – вантажника (показаний на рисунку 2.22). Кількість ресурсів будемо змінювати в процесі постановки експериментів.

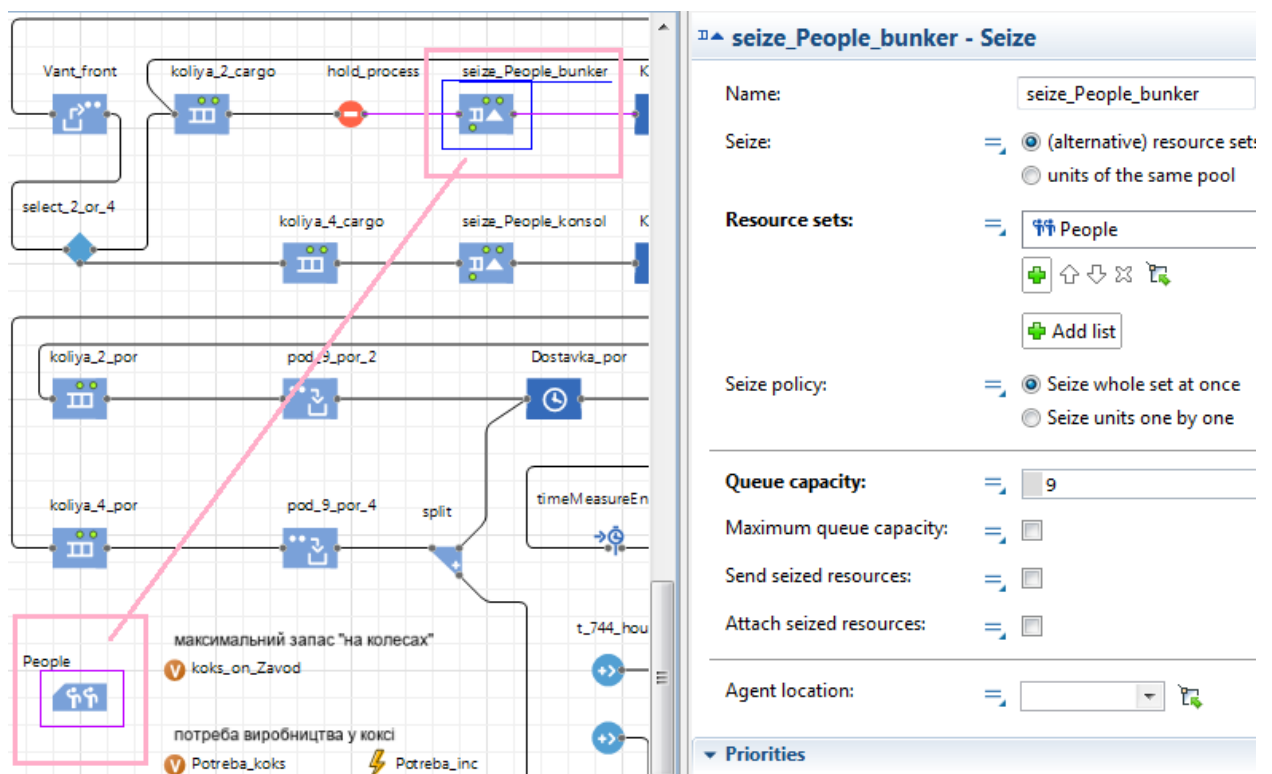


Рисунок 2.21 – Об'єкт seize_People_bunker

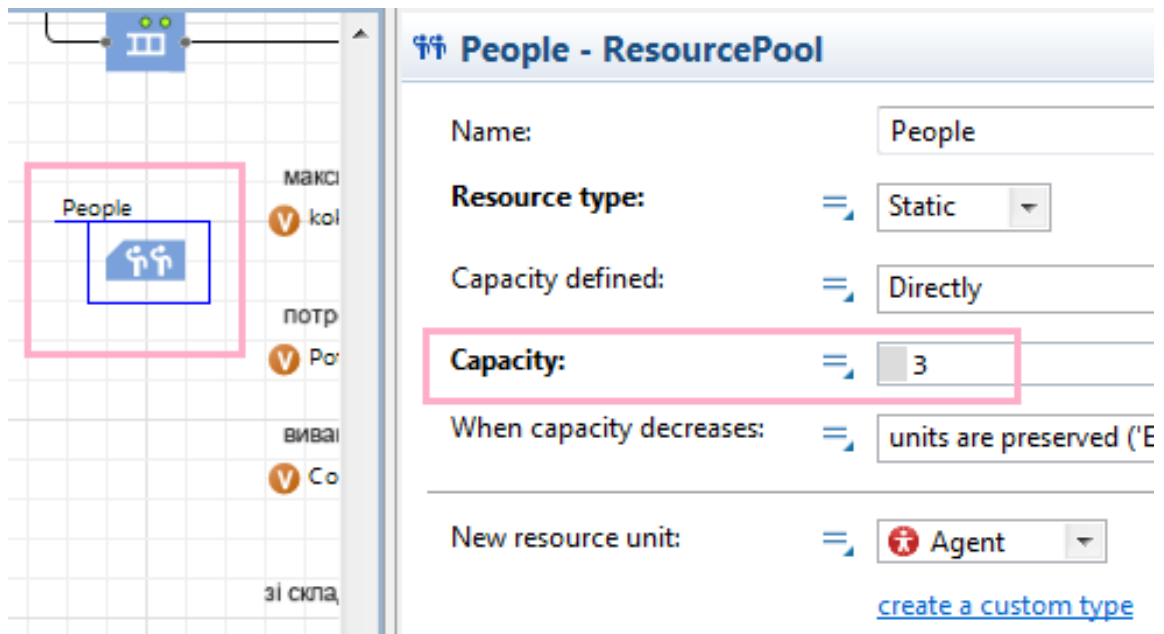


Рисунок 2.22 – Ресурс People

Далі здійснюється затримка вагонів об'єктом Koks_to_bunker для імітації процесу вивантаження коксу та вивільнення ресурсів об'єктом rel_2 – рисунок 2.23.

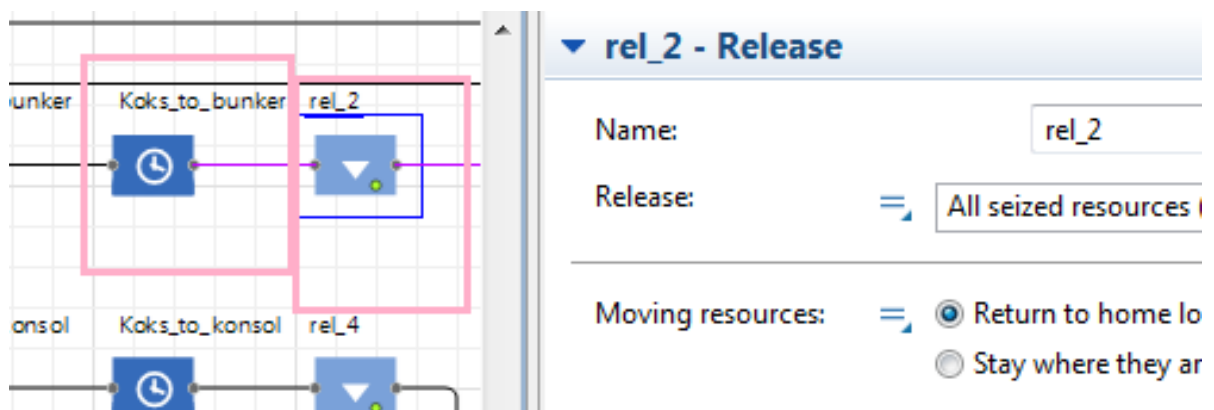


Рисунок 2.23 – Об'єкт rel_2

Наступним кроком вивантажені вагоні потрапляють до черги koliya_2_por – рисунок 2.24.

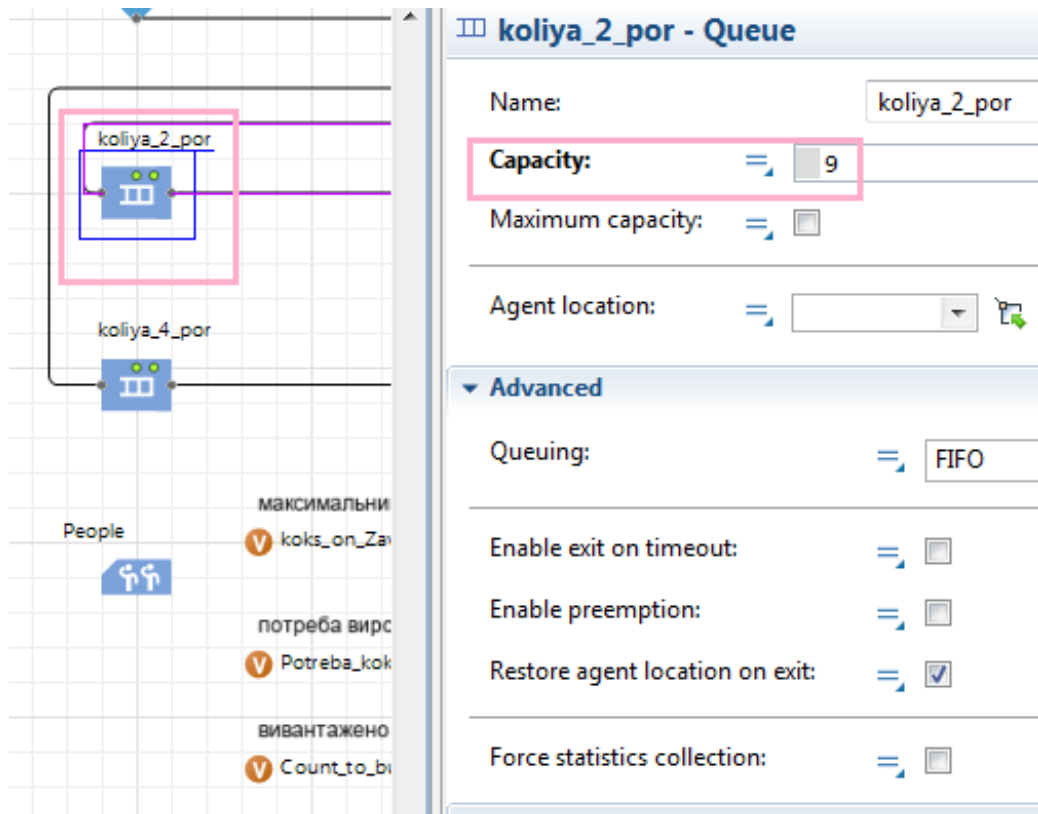


Рисунок 2.24 – Черга koliya_2_por

Далі здійснюється групування составу 9 вагонів – рисунок 2.25 – об’єкт pod_9_por_2.

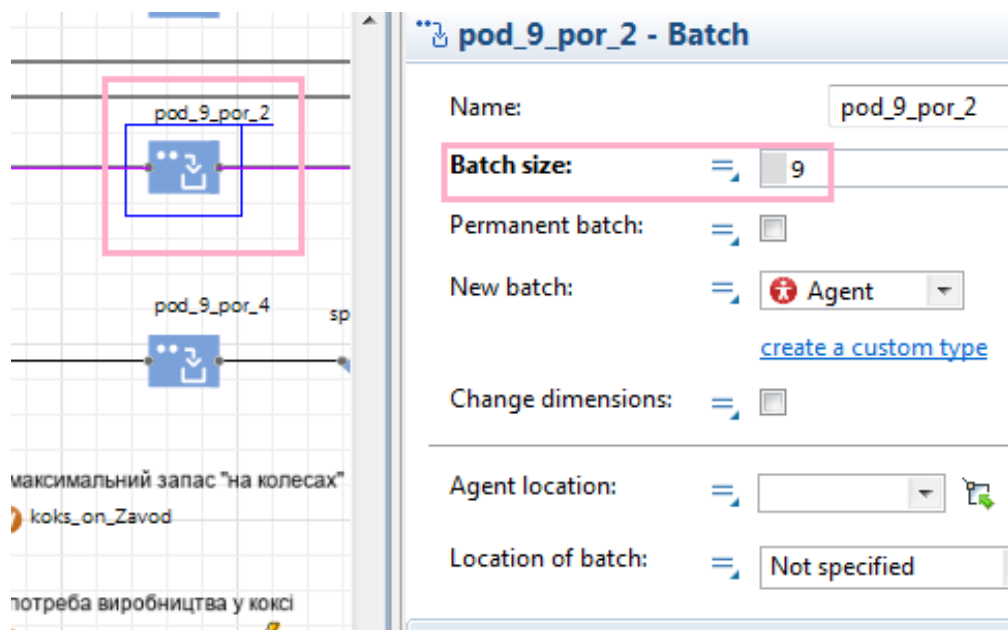


Рисунок 2.25 – Об’єкт pod_9_por_2

Імітується процедура доставки – рисунок 2.26 – об’єкт Dostavka_por з параметрами:

- час затримки – 15 хвилин;
- місткість – 1 состав на перегоні.

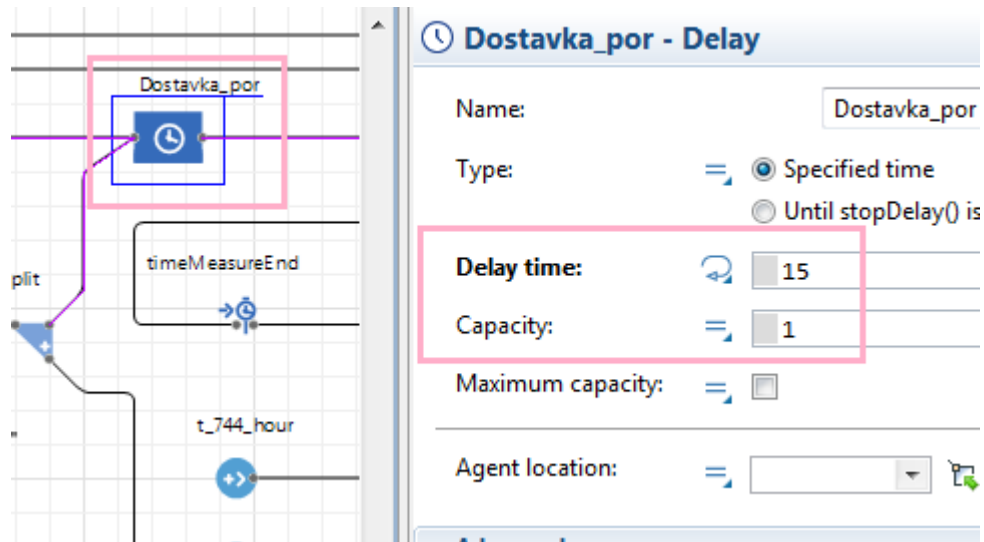


Рисунок 2.26 – Об’єкт Dostavka_por

Після розгрупування вагонів з коксом – рисунок 2.27 – об’єкт Por_to_station вони потрапляють до об’єкта timeMeasureEnd, що вираховує тривалість перебування вагонів в системі моделювання – рисунок 2.28.

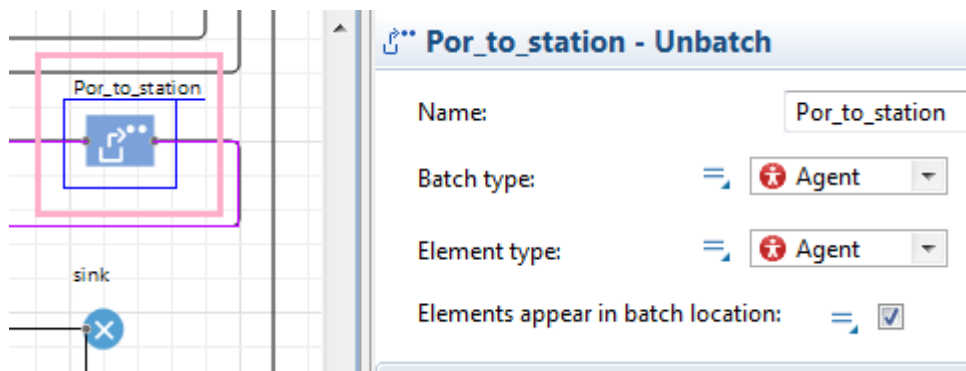


Рисунок 2.27 – Об’єкт Por_to_station

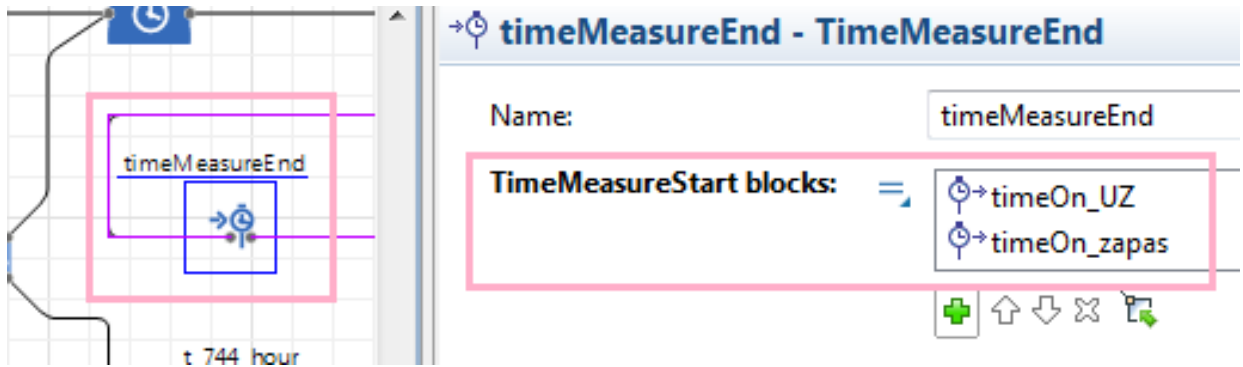


Рисунок 2.28 – Об’єкт розрахунку часу перебування вагонів в системі моделювання timeMeasureEnd

Останнім елементом в ланцюгу вивантаження вагонів з коксом до бункерів є об’єкт sink, що виконує знищення замовлень (рисунок 2.29).

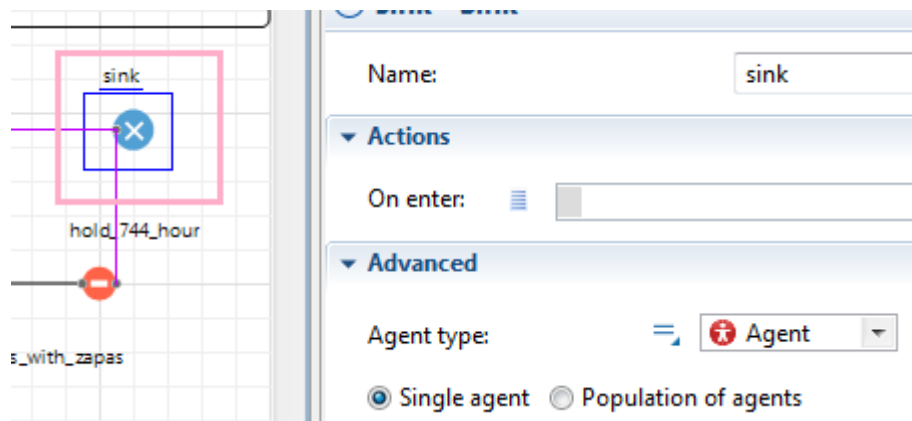


Рисунок 2.29 – Кінцевий об’єкт, що виконує знищення замовлень

2.2.3 Ланцюг процесів вивантаження коксу на склад

Ланцюг процесів вивантаження коксу на склад показаний на рисунку 2.30.

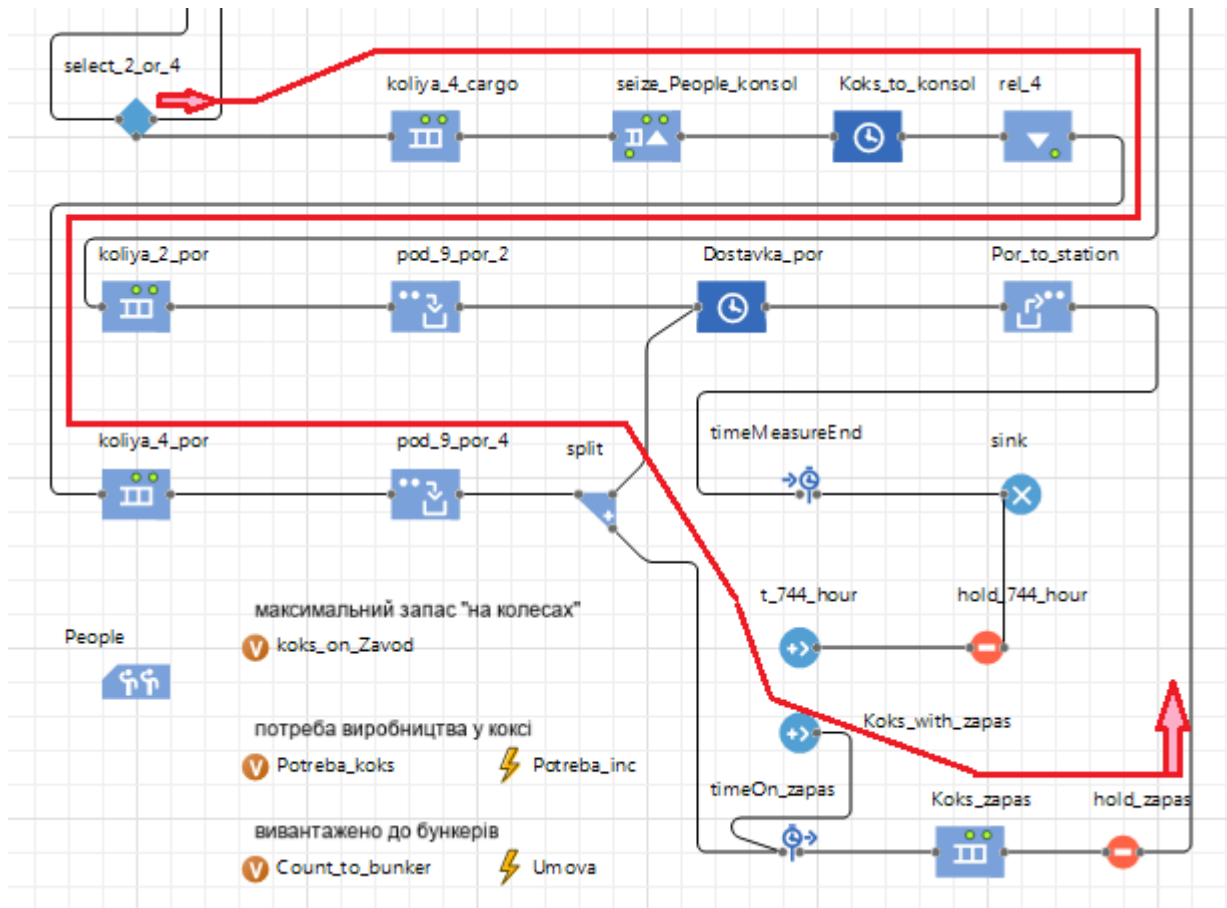


Рисунок 2.30 – Ланцюг процесів вивантаження коксу на склад

З аналогією з попереднім ланцюгом вивантаження в бункери, вагони потрапляють до черги `koliya_4_cargo` – рисунок 2.31.

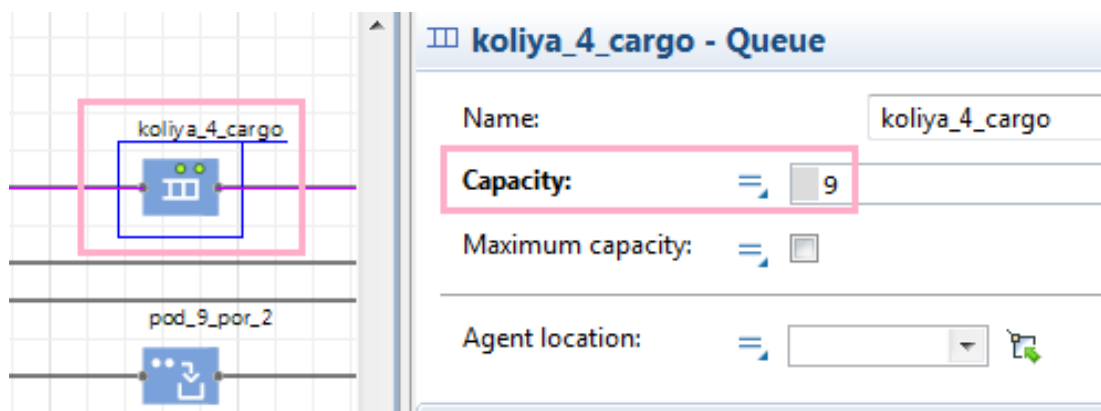


Рисунок 2.31 – Черга `koliya_4_cargo`

Далі функціонують послідовно об'єкти – рисунок 2.32:

- seize_People_konsol – приєднання ресурсів;
- Koks_to_konsol – вивантаження на консольній колії;
- rel_4 – вивільнення ресурсів.

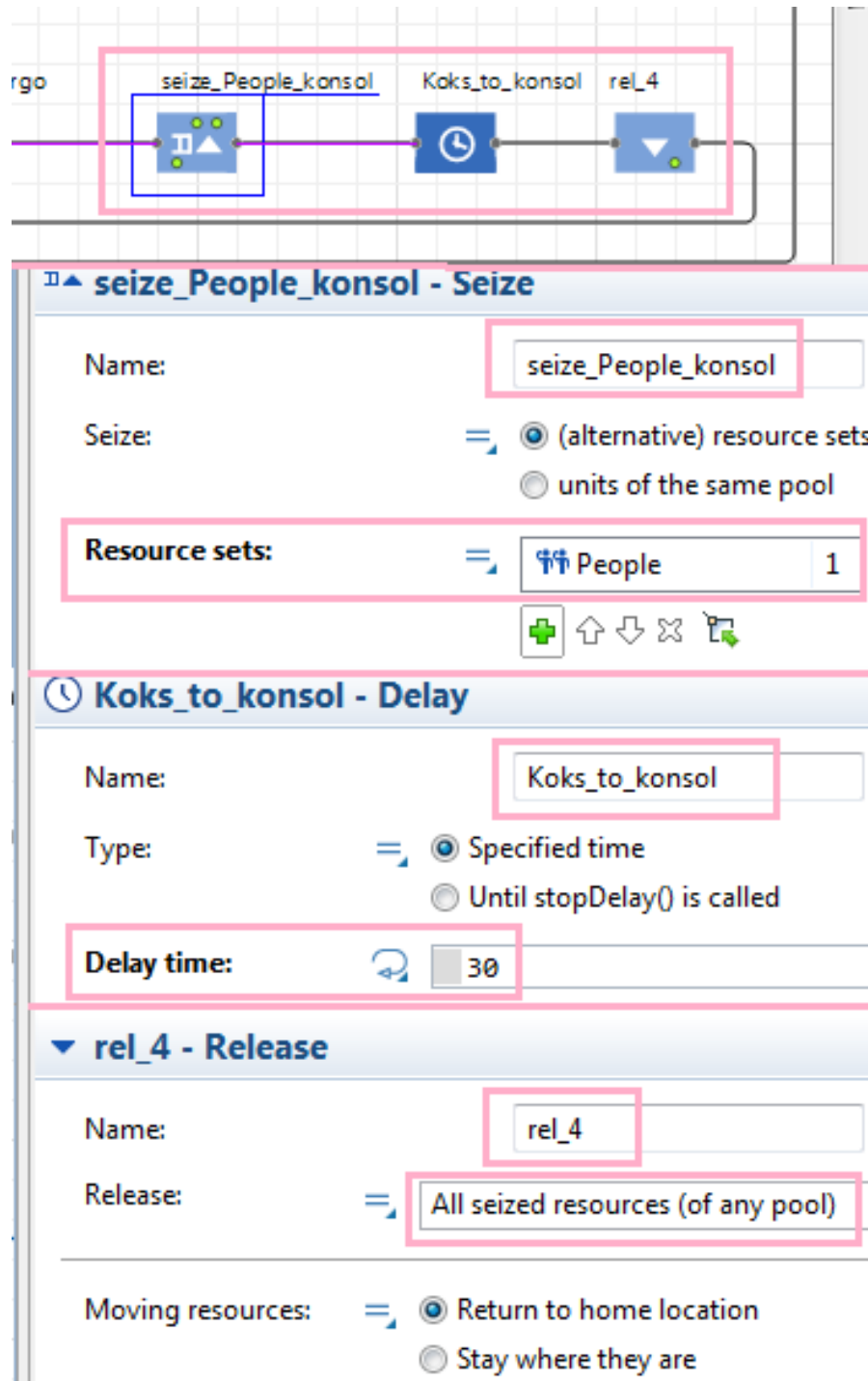


Рисунок 2.32 – Об'єкти seize_People_konsol, Koks_to_konsol, rel_4

Так само, як і у попередньому ланцюгу, партія вагонів потрапляє до черги `koliya_4_por` та розгрупується об'єктом `pod_9_por_4` – рисунок 2.33.

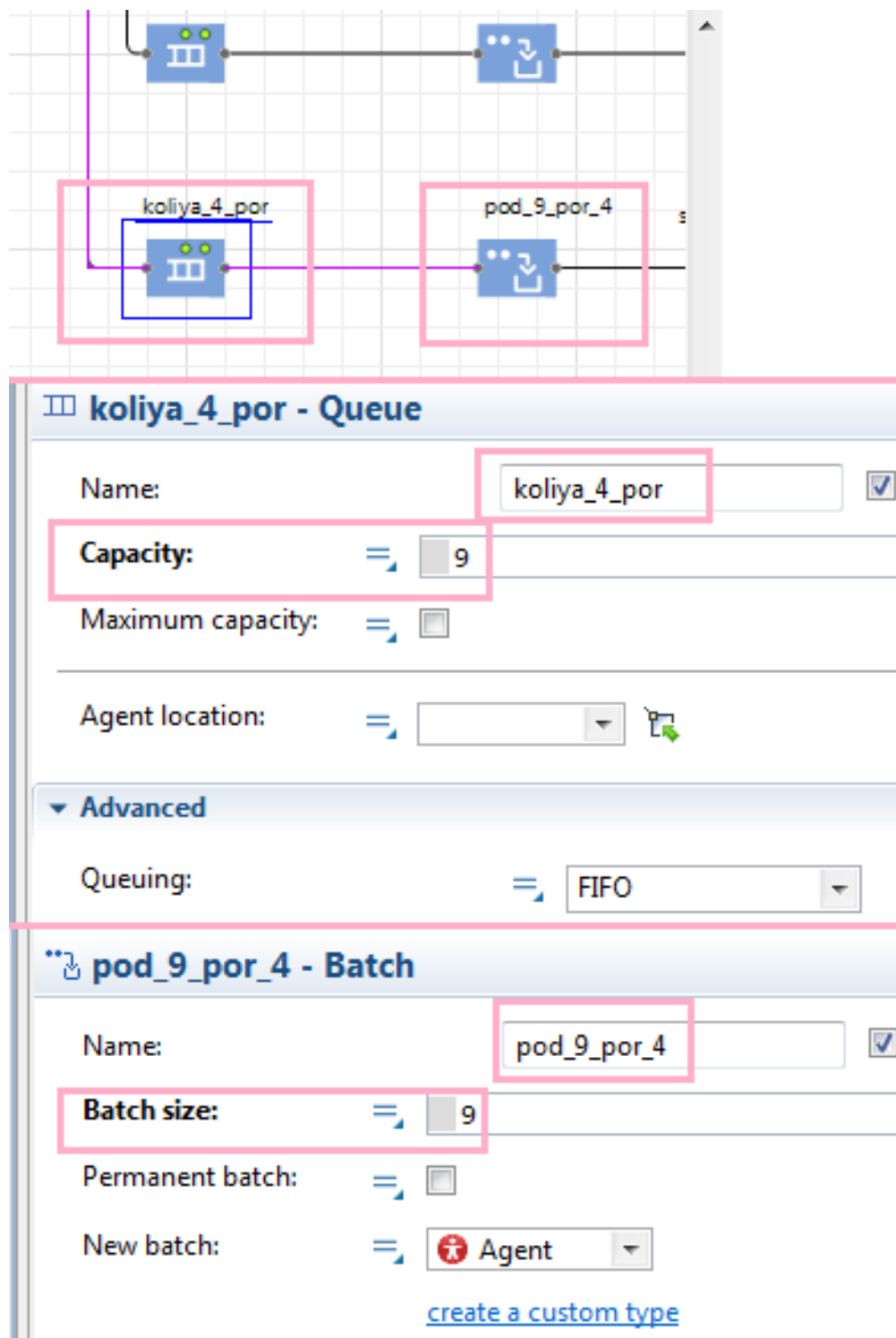


Рисунок 2.33 – Об'єкти `koliya_4_por` та `pod_9_por_4`

Наступний об'єкт split – рисунок 2.34 – здійснює копіювання замовлення-вагону. Оригінал потрапляє до ланцюгу процесів повернення порожніх вагонів на станцію, а копія – імітує процес потрапляння коксу на склад.

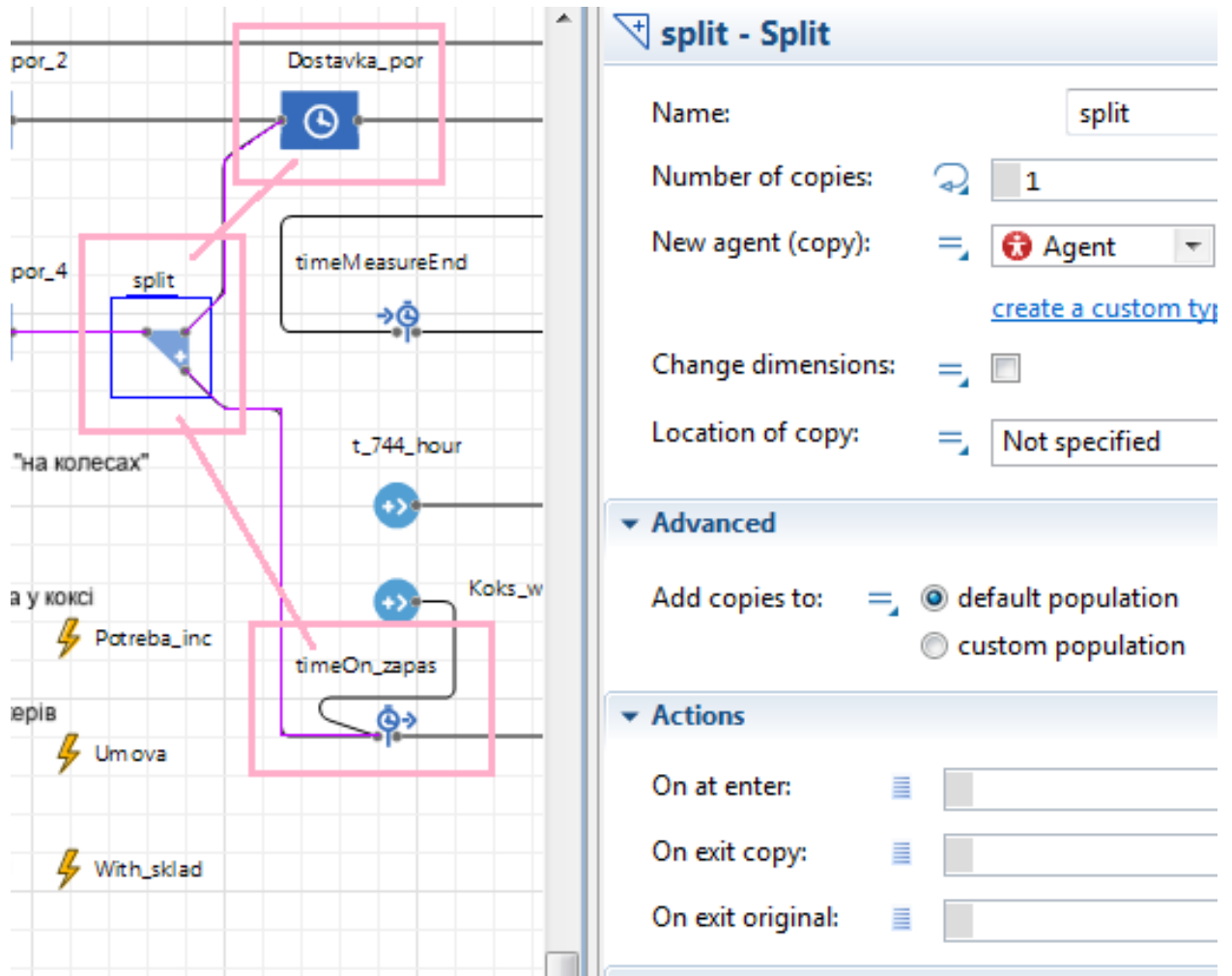


Рисунок 2.34 – Об'єкт split

Для копії замовлення необхідно встановити момент фіксації часу з'явлення в системі, що виконує об'єкт timeOn_zapas – рисунок 2.35.

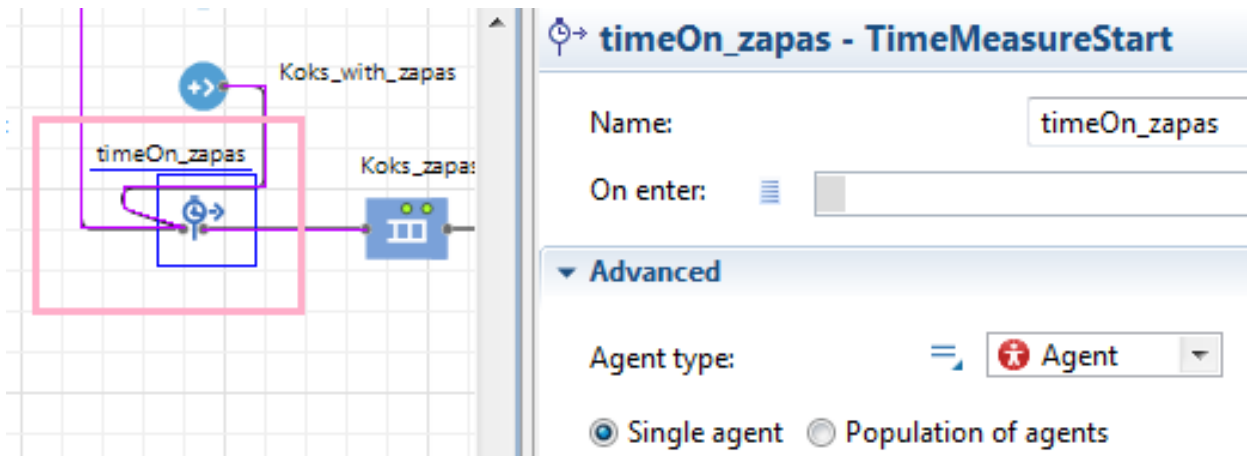


Рисунок 2.35 – Об'єкт timeOn_zapas

Задля уникнення при моделюванні ситуації з нестачей коксу, що в реальних умовах не допускається, в програм передбачений об'єкт With_sklad виклику додаткових замовлень – вагонів (рисунок 2.36).

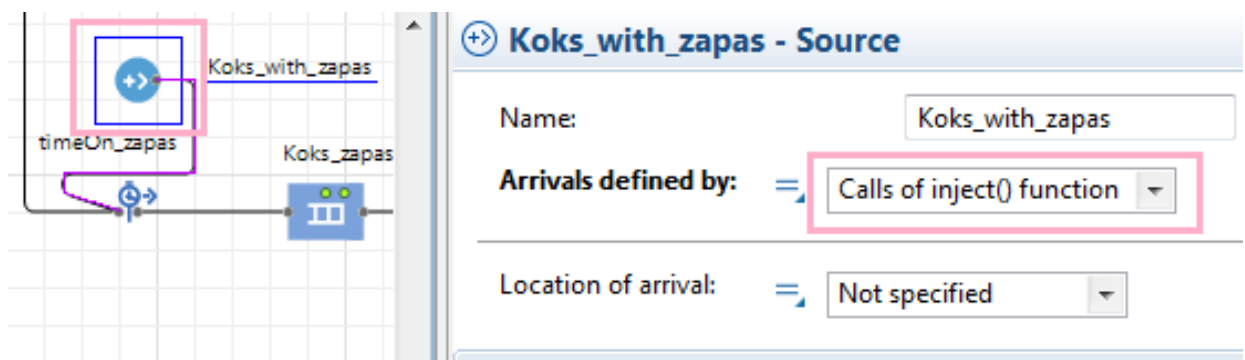


Рисунок 2.36 – Об'єкт Koks_with_zapas

Даний об'єкт – рисунок 2.37 – спрацьовує у разі виконанні умови:

$(\text{Count_to_bunker} + 9) < \text{Potreba_koks}$.

При цьому виконується функція `Koks_with_zapas.inject(9)`, де 9 – це кількість вагонів.

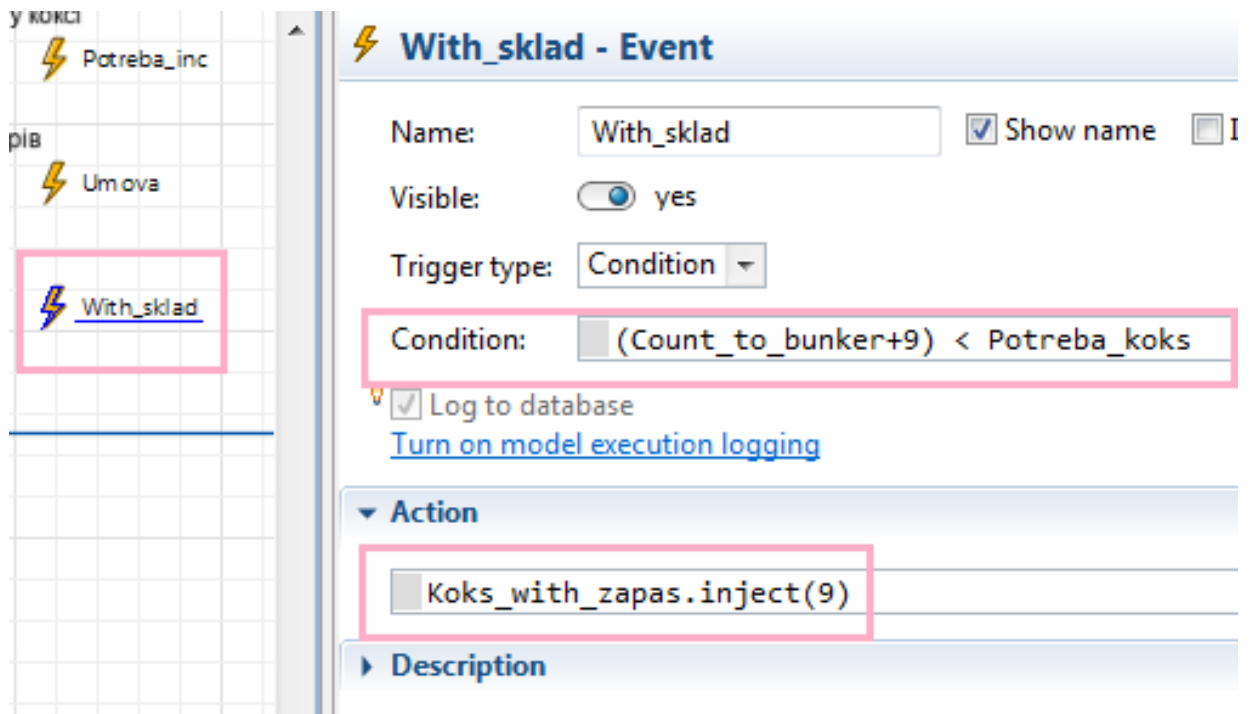


Рисунок 2.37 – об'єкт With_sklad

Вагони, що перебувають в запасі – імітуються чергою Koks_zapas, вихід з якої блокується hold_zapas до виконання умови нестачі коксу для виробничого процесу (рисунок 2.38).

Надалі вагони від'єднуються до процесів вивантаження відповідно до ланцюга, функціонування якого описане в попередньому пункті.

Умова виходу прописана в об'єкті Uмова:

```
if (Potreba_koks < Count_to_bunker)
{hold_process.setBlocked(true);
  hold_zapas.setBlocked(true);}
else {hold_process.setBlocked(false);
      hold_zapas.setBlocked(false);}
```

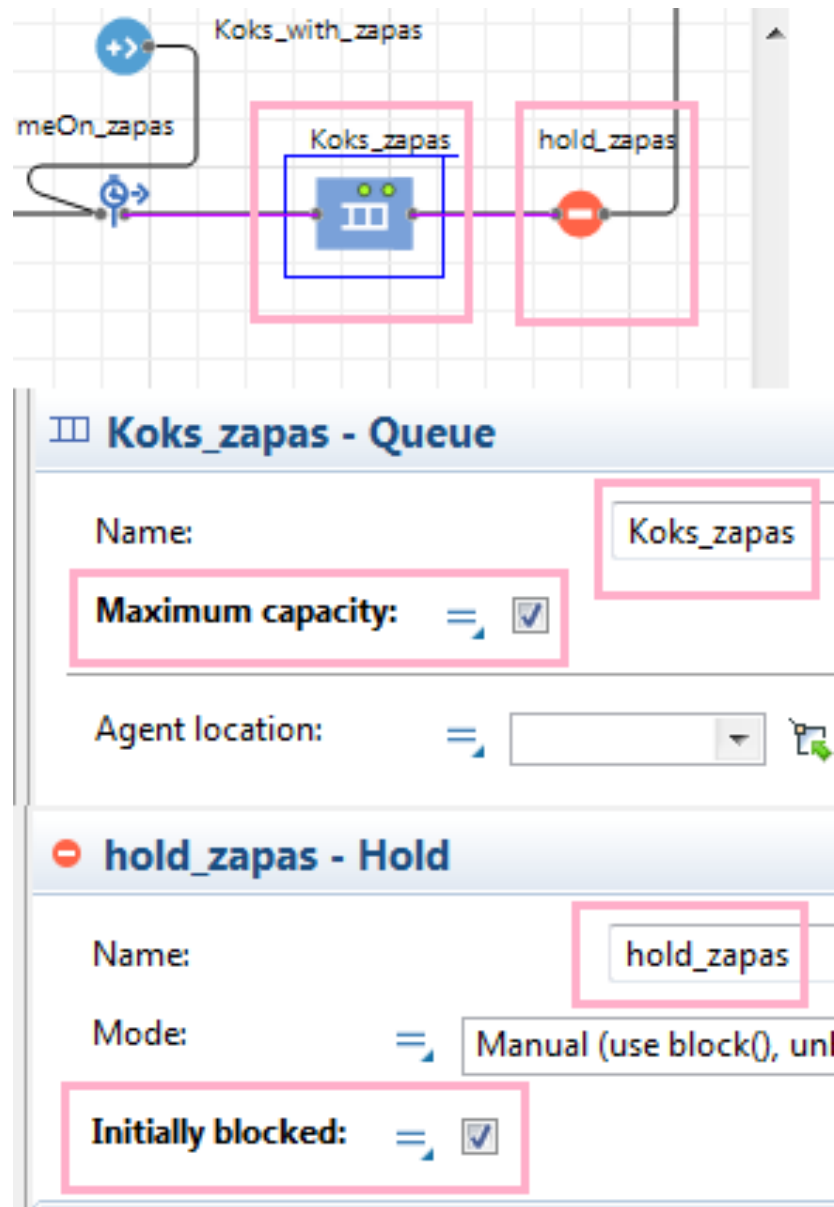


Рисунок 2.38 – Об’єкти Koks_zapas та hold_zapas

Серед об’єктів, які ще не були згадані – Potreba_inc (рисунок 2.39), який збільшує значення змінної Potreba_koks – значення потрібної кількості вагонів відповідно до рівномірного ходу виробництва, за розрахунками – кожні 28 хвилин:

$$\text{Potreba_koks} = \text{Potreba_koks} + 1.$$

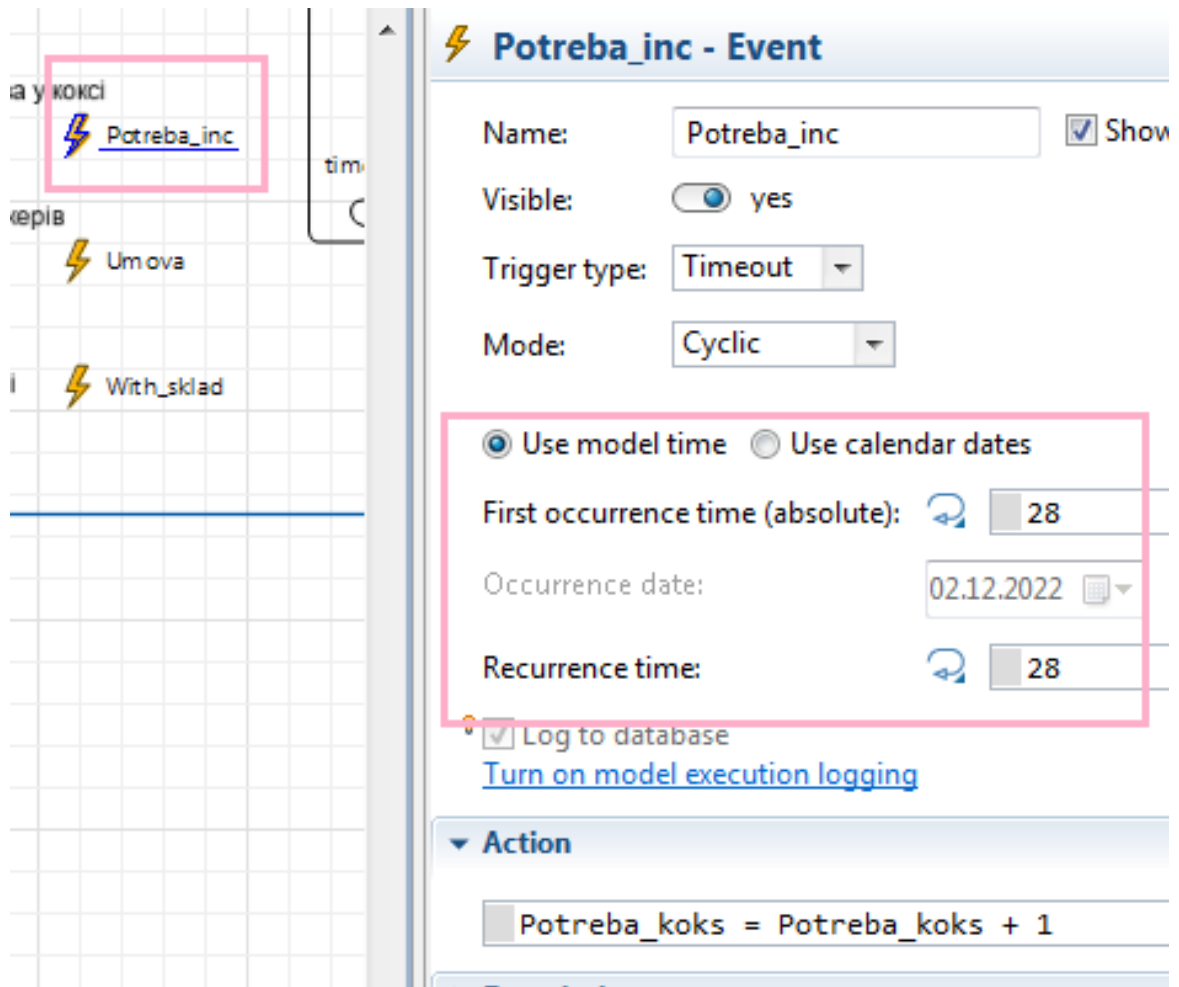


Рисунок 2.39 – Potreba_inc

Після опису всіх об'єктів програми переходимо до постановки експериментів.

Параметрами, які управляють системою обрані наступні:

- кількість вантажників;
- розмір запасу коксу «на колесах».

2.3 Експерименти на моделі доставки коксу

План проведення експериментів представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – План проведення експериментів

Номер експерименту	Запас "на колесах", вагонів	Кількість вантажників
1	10	3
2	30	3
3	50	3
4	10	5
5	30	5
6	50	5
7	10	9
8	30	9
9	50	9

Результати першого експерименту представлено на рисунку 2.40, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 169;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 11767;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 148.

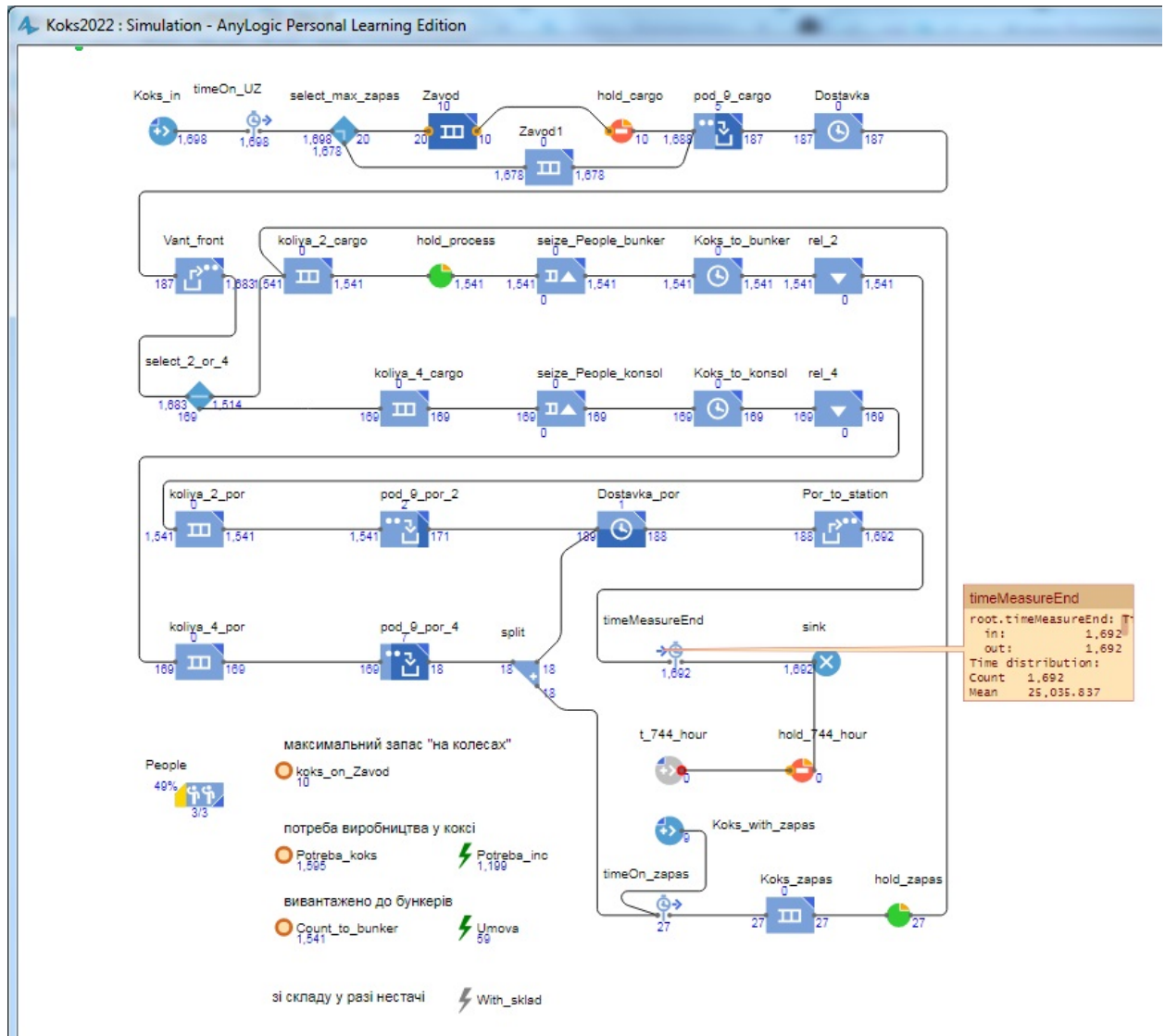


Рисунок 2.40 – Результати експерименту 1

Результати експерименту 2 представлено на рисунку 2.41, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 149;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 11435;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 130.

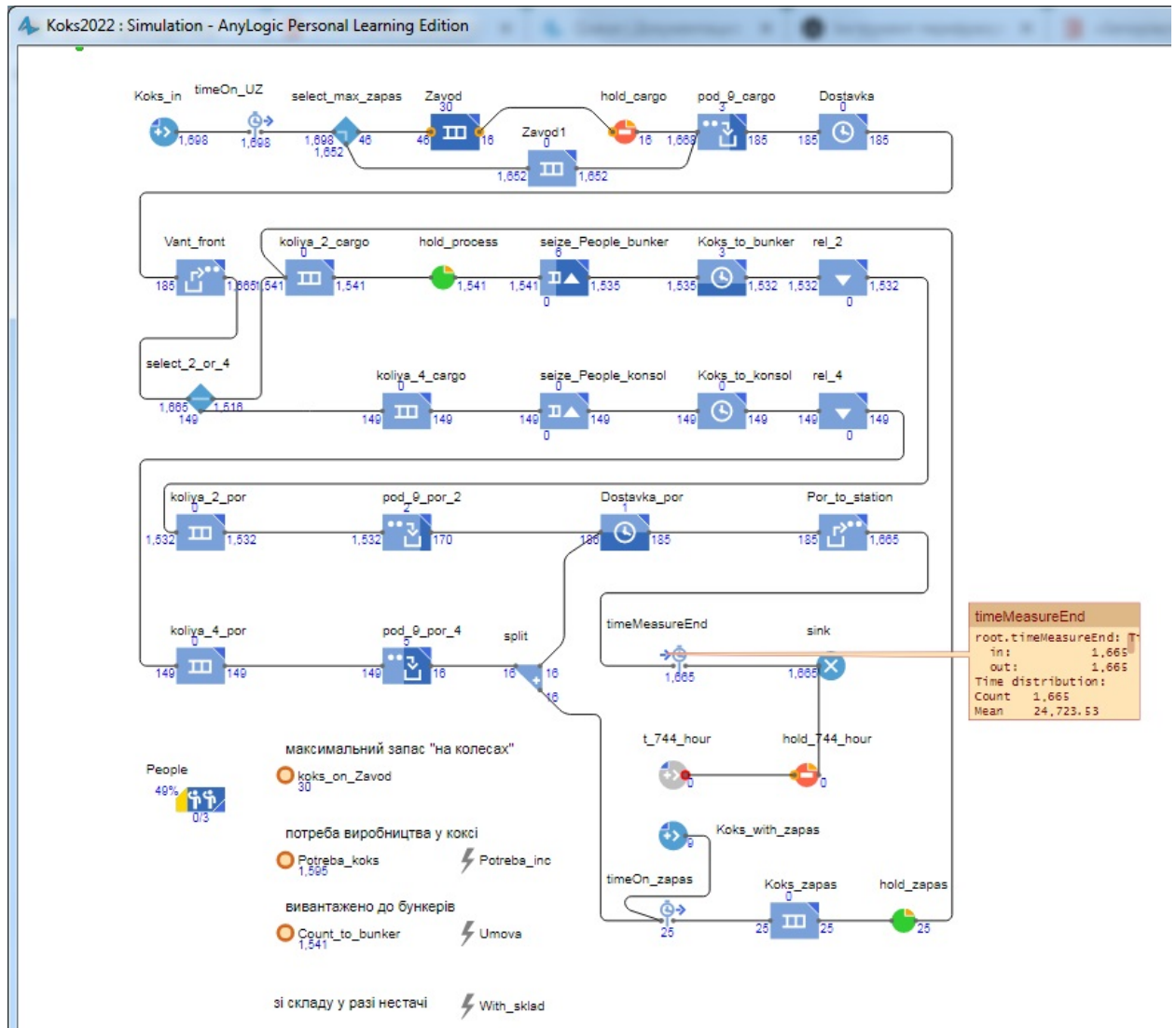


Рисунок 2.41 – Результати експерименту 2

Результати експерименту 3 представлено на рисунку 2.42, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 119;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодин/місяць – 10982;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 104.

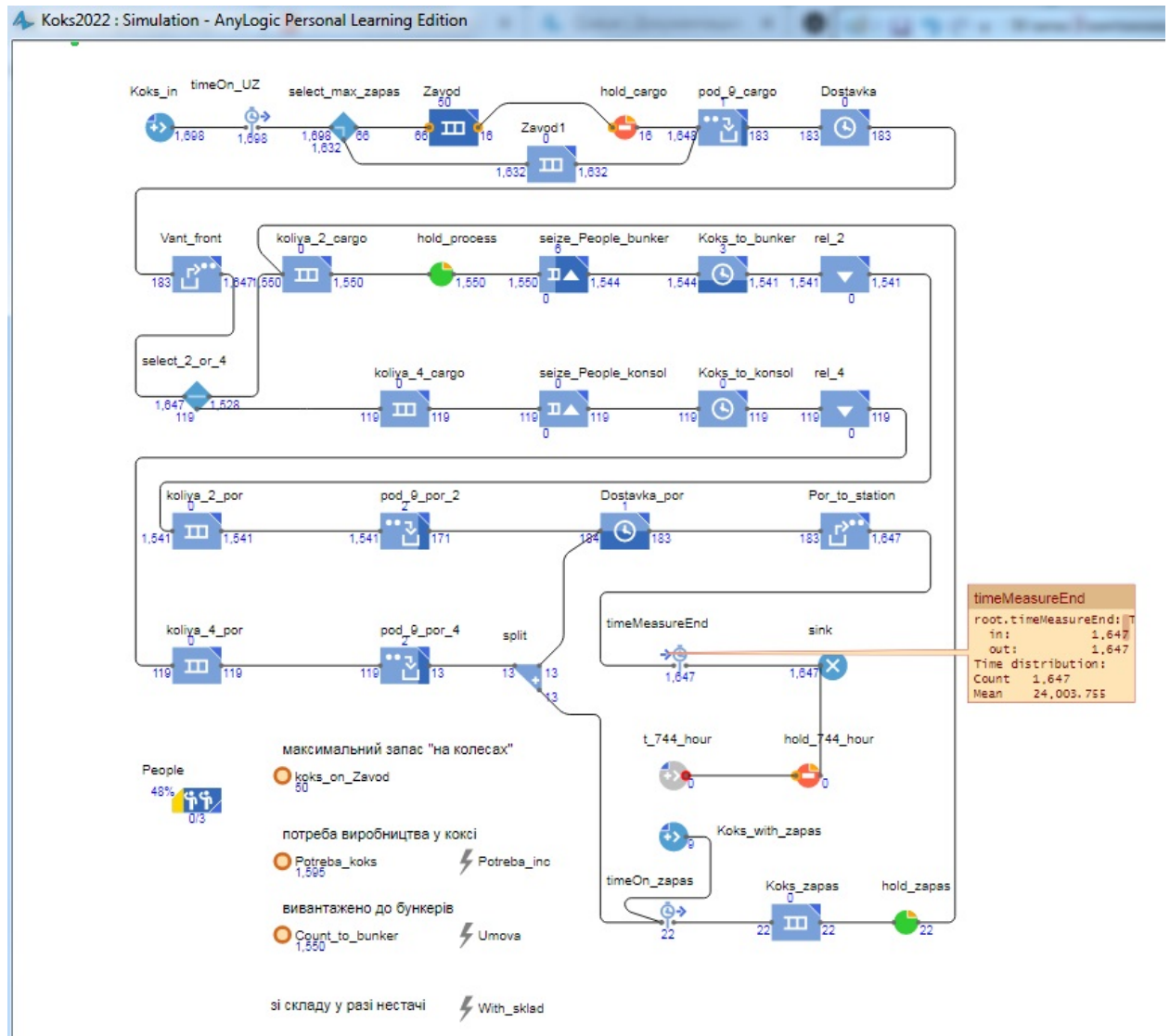


Рисунок 2.42 – Результати експерименту 3

Результати експерименту 4 представлено на рисунку 2.43, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 169;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 9959;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 148.

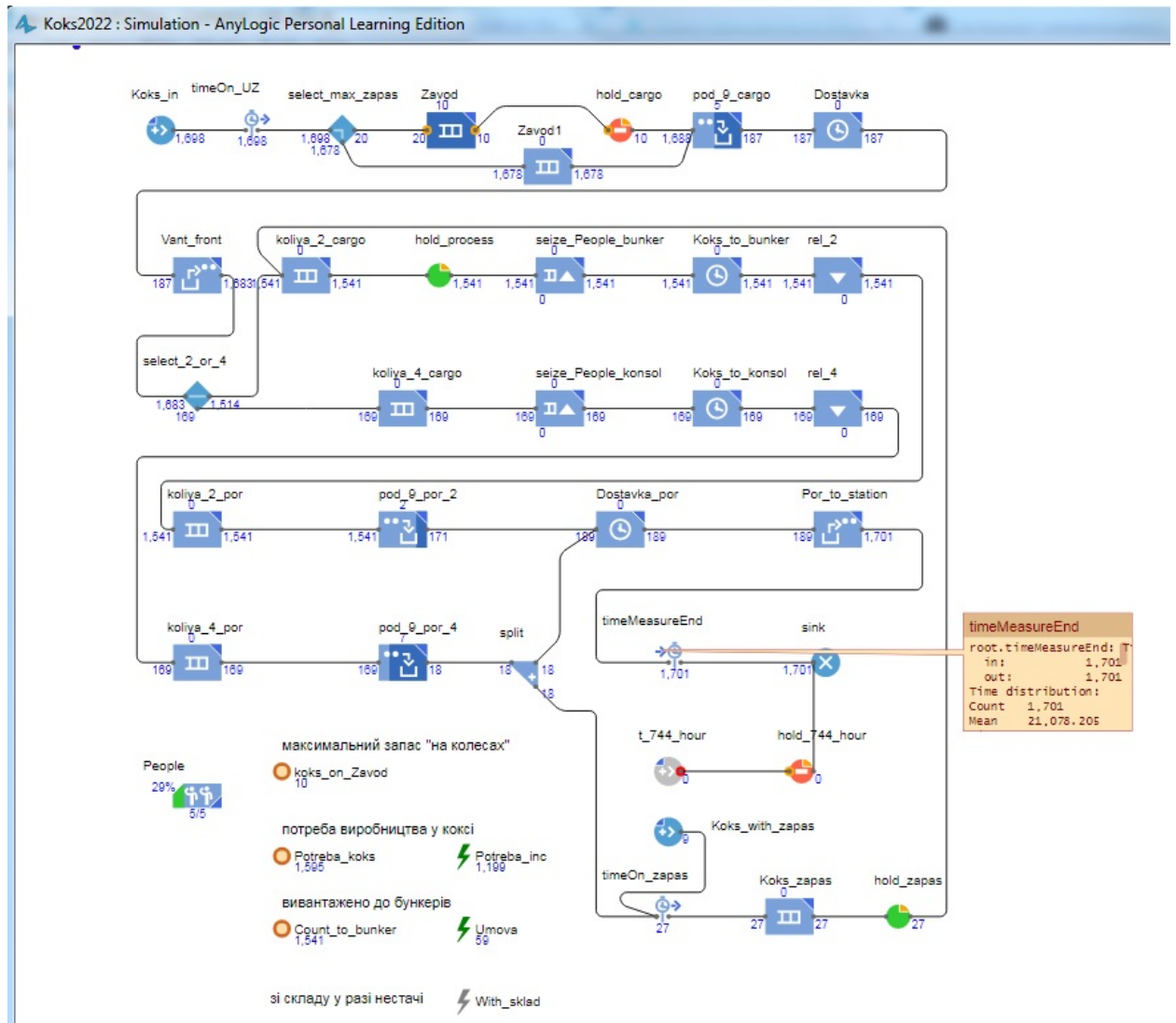


Рисунок 2.43 – Результати експерименту 4

Результати експерименту 5 представлено на рисунку 2.44, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 149;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагогодин/місяць – 9929;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 130.

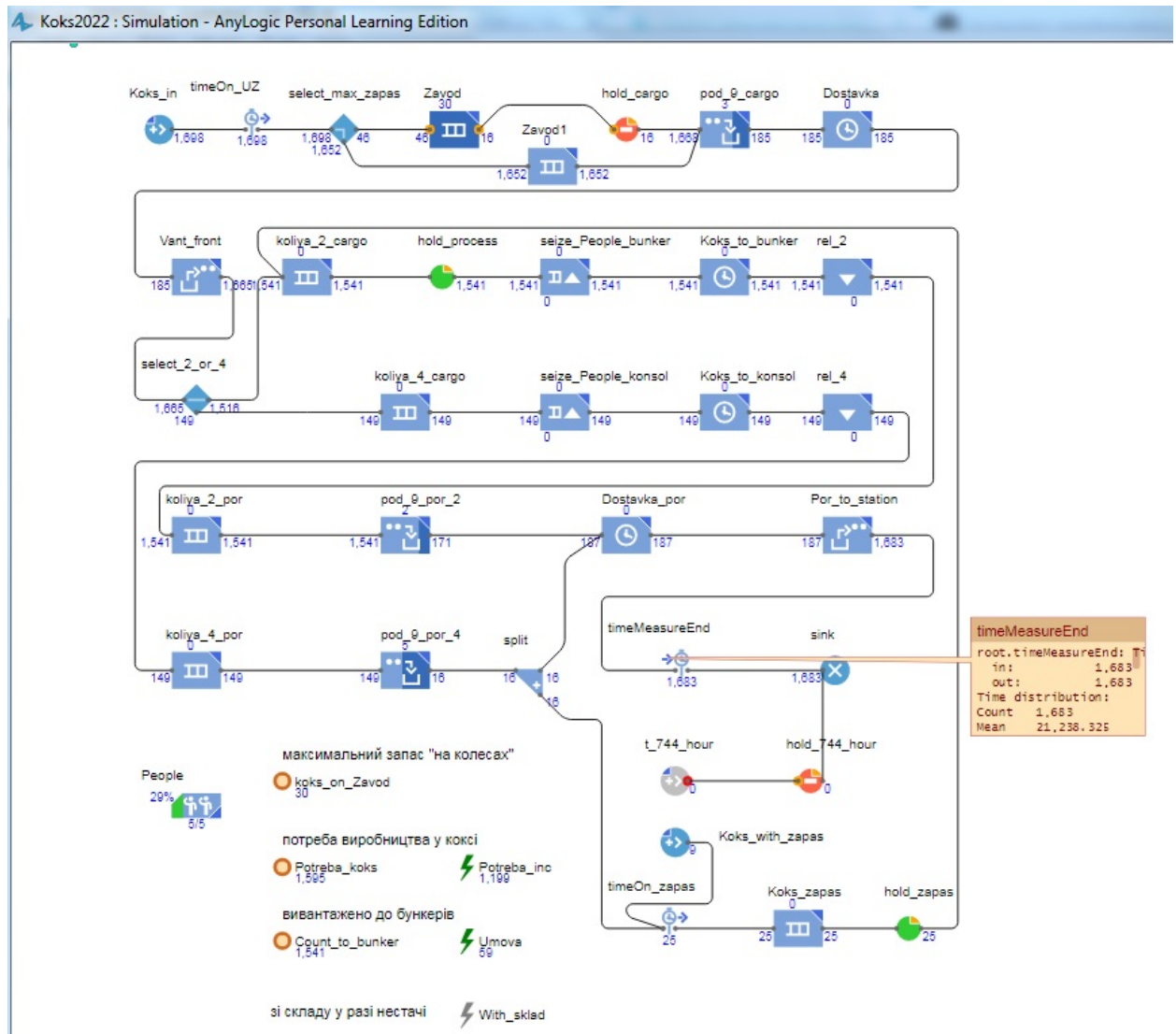


Рисунок 2.44 – Результати експерименту 5

Результати експерименту 6 представлено на рисунку 2.45, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 119;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 9616;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 104.

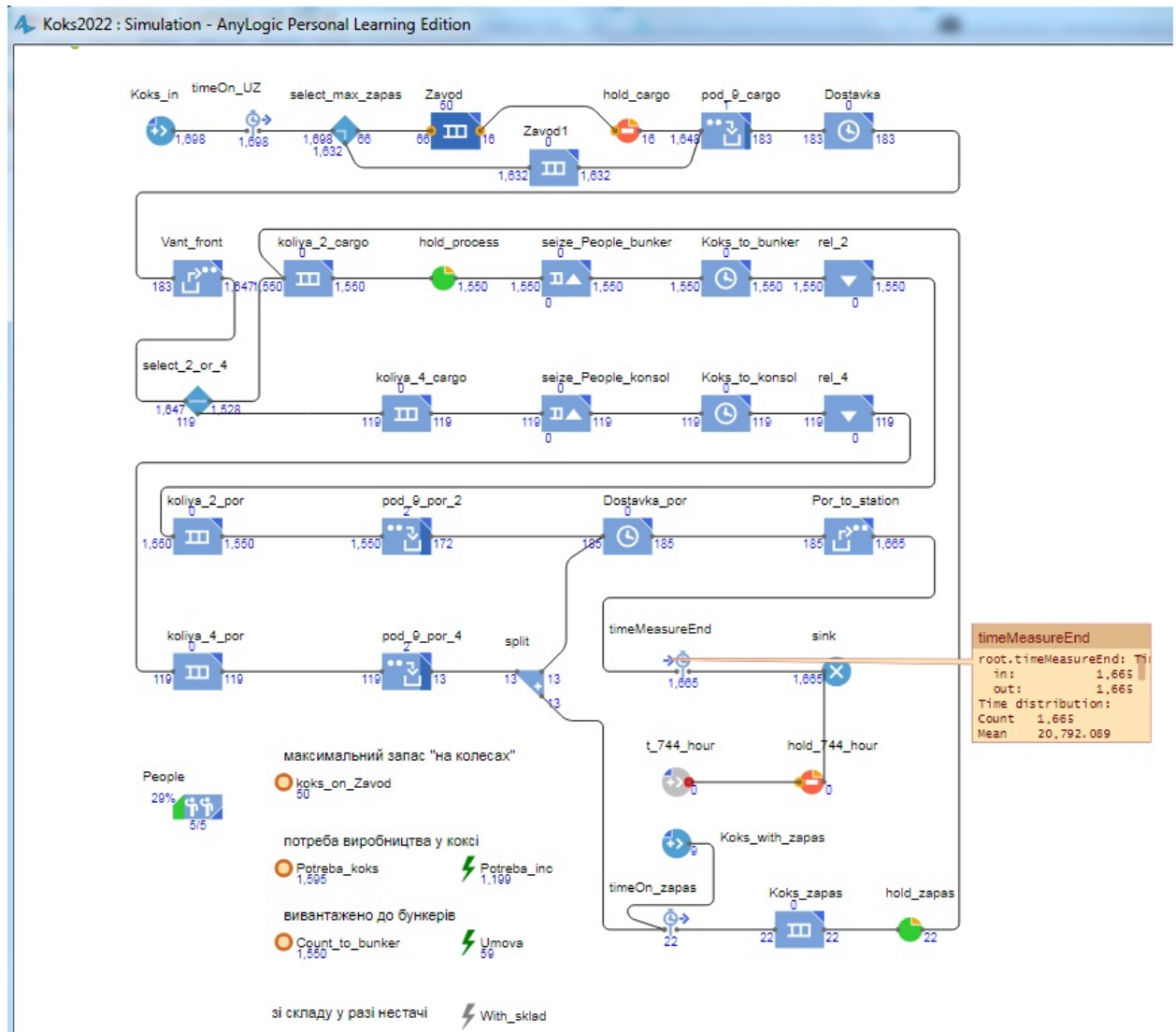


Рисунок 2.45 – Результати експерименту 6

Результати експерименту 7 представлено на рисунку 2.46, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 169;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 8825;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 148.

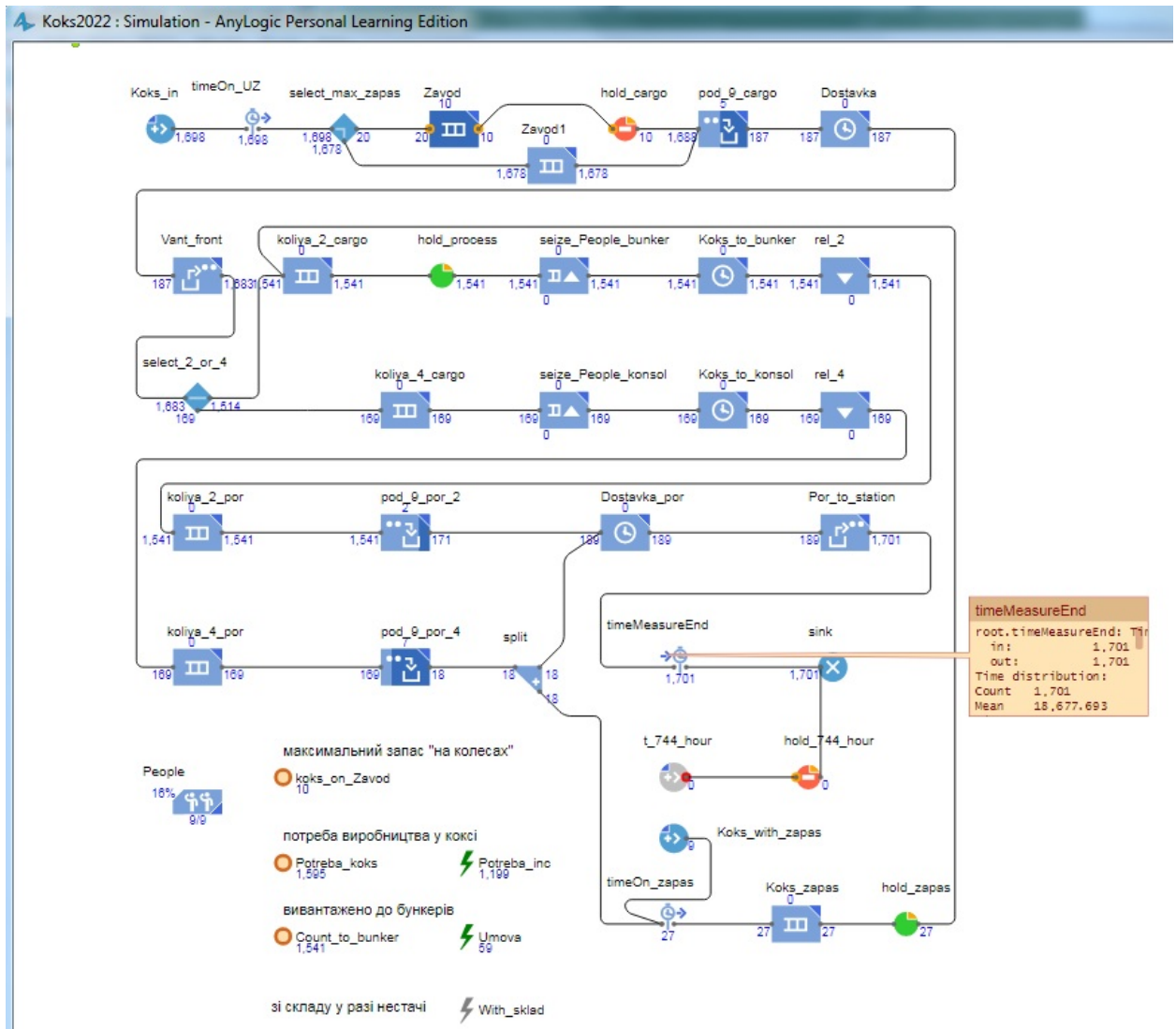


Рисунок 2.46 – Результати експерименту 7

Результати експерименту 8 представлено на рисунку 2.47, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 149;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 8705;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 130.

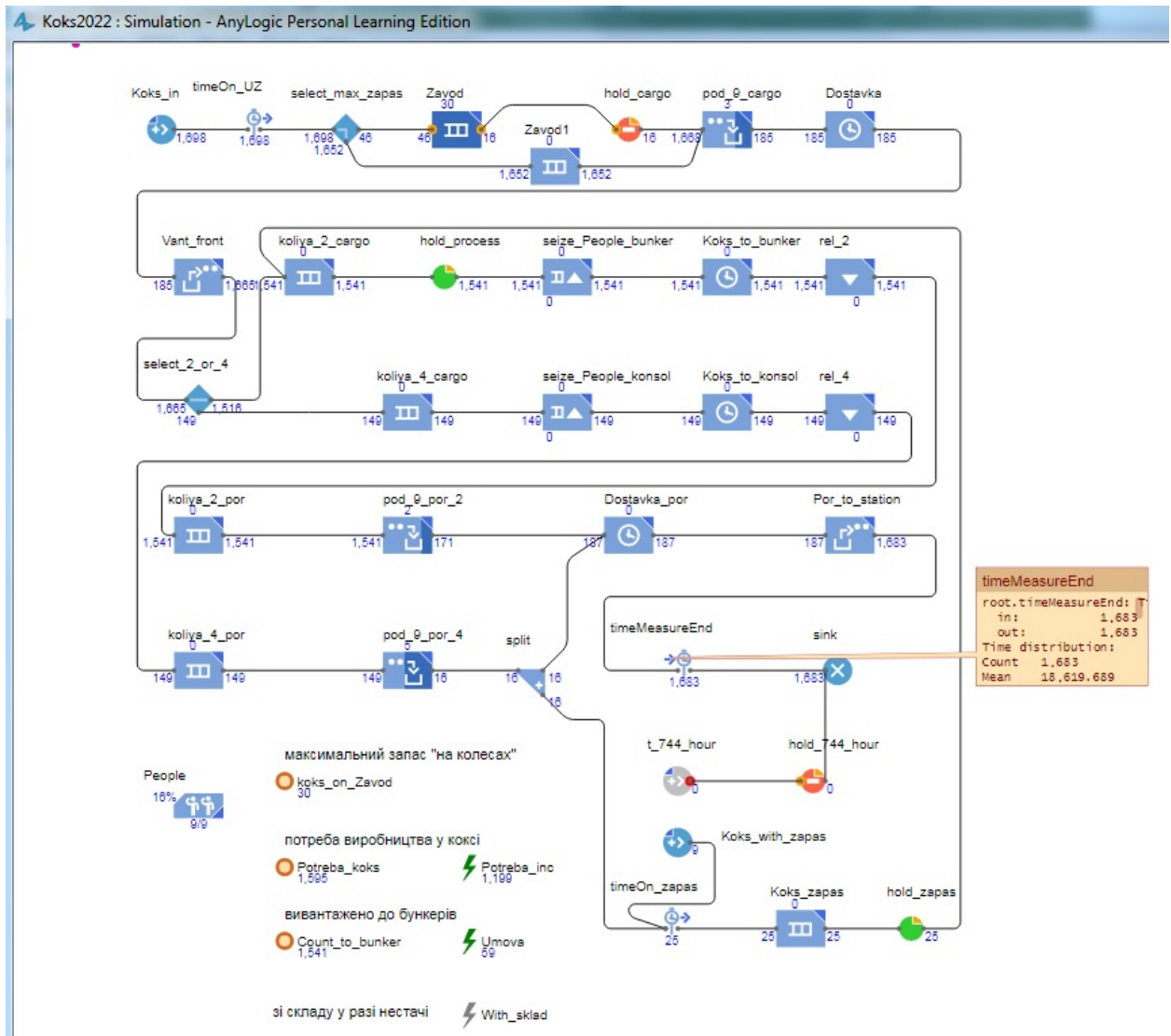


Рисунок 2.47 – Результати експерименту 8

Результати експерименту 9 представлено на рисунку 2.48, головні показники:

- перевантажено через склад на рудному дворі (вивантаження на консольній колії), вагонів/місяць – 119;
- простій вагонів за досліджуваним процесом доставки та вантажопереробки, вагоногодина/місяць – 8362;
- втрата коксу через додаткову перевалку з використанням рудно-грейферних перевантажувачів, т/місяць – 104.

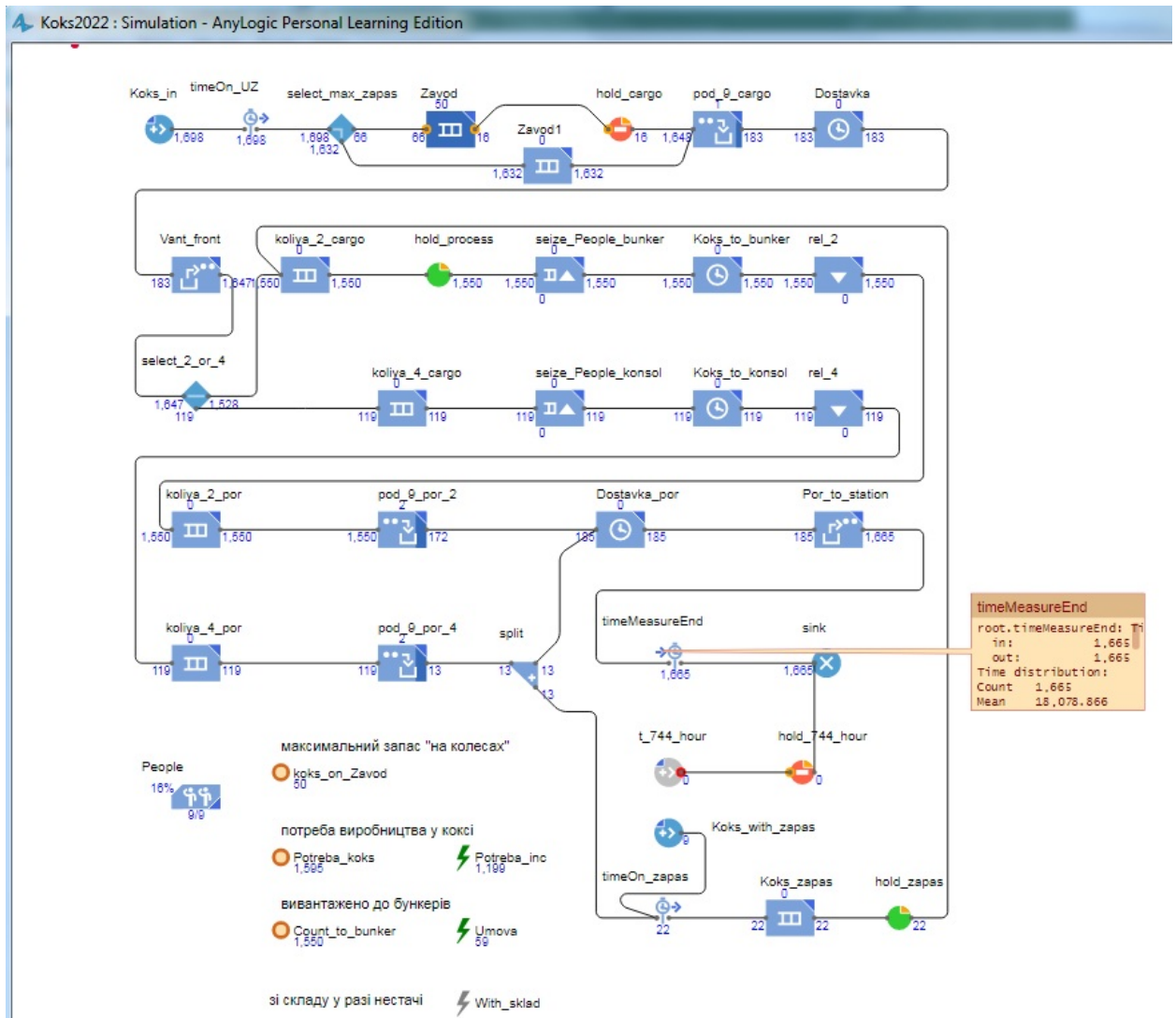


Рисунок 2.48 – Результати експерименту 9

Результати усіх 9 експериментів перерахуємо на період – рік, та зведемо до загальної таблиці 2.3.

Дані результатів моделювання будуть використані у якості вихідних для техніко-економічного обґрунтування найбільш економічного варіанту організації доставки та вантажопереробки коксу у разі постачань на металургійне підприємство магістральним залізничним транспортом.

Таблиця 2.3 – Результати дев'яти експериментів

Номер експерименту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Запас "на колесах", вагонів	10	30	50	10	30	50	10	30	50
Кількість вантажників	3	3	3	5	5	5	9	9	9
Простій вагонів, ваг-годин/міс	11767	11435	10982	9959	9929	9616	8825	8705	8362
Перевантажено через склад, вагонів/міс	169	149	119	169	149	119	169	149	119
Простій вагонів, ваг-годин/рік	141204	137220	131784	119508	119148	115392	105900	104460	100344
Перевантажено через склад, вагонів/рік	2028	1788	1428	2028	1788	1428	2028	1788	1428
Втрата вантажу, т/рік	1772	1563	1248	1772	1563	1248	1772	1563	1248

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Магістерською роботою передбачено аналіз можливої ситуації необхідності доставки коксу на ПАТ «Запоріжсталь» не з підприємства, яке входить до складу групи компаній Метінвест, а з зовнішньої мережі залізниць України. Такий сценарій цілком можливий в умовах військового стану, тож тематика роботи є досить актуальною для Запоріжжя.

Основною технологічною особливістю такого варіанту організації робіт є суттєве зростання нерівномірності постачань, особливо в умовах роботи підприємства на 50% потужності – коли працюють лише дві доменні печі. Склади з коксом надходять за випадковим розміром інтервалу між ними. Це було проаналізовано на наявних прикладах таких постачань минулих періодів.

Через зазначені обставини, в основній частині розглянуті різні транспортні технології:

- вивантаження у приймальні бункери коксу та підтримання запасу «на колесах» у кількості 10 вагонів, надлишкові обсяги – вивантажуються на рудний двір з консольної колії та повертаються при дефіциті палива шляхом переміщення до бункерів грейферним перевантажувачем з цього складу. При цьому планується врахувати витрати, пов'язані з подрібненням та втратою вантажу за нормативним показником – 2% від його маси;

- така ж технологія із підтриманням «запасу на колесах» у розмірі 30 та 50 вагонів;

- всі вищезазначені технології робіт аналізуються при використанні 3, 5 або 9 вантажників. Останнє значення їх кількості відповідає розміру складу, що подається для вивантаження та є максимальним.

Таким чином, було проведено 9 експериментів на імітаційній моделі, реалізованій в середовищі Енілоджік.

Отримані результати представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для економічних розрахунків

Номер експерименту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Запас "на колесах", вагонів	10	30	50	10	30	50	10	30	50
Кількість вантажників	3	3	3	5	5	5	9	9	9
Простій вагонів, ваг-годин/рік	141204	137220	131784	119508	119148	115392	105900	104460	100344
Перевантажено через склад, вагонів/рік	2028	1788	1428	2028	1788	1428	2028	1788	1428
Втрата вантажу, т/рік	1772	1563	1248	1772	1563	1248	1772	1563	1248

Заробітна плата вантажників $ЗП_{\text{вант_вар}}$ за вивантаження коксу з вагонів відповідно до параметрів варіантів №1-9 визначається за формулою [8,9]:

$$ЗП_{\text{вант_вар}} = 12 N_{\text{вант_вар}} \cdot ЗП_{\text{вант}}, \quad (3.1)$$

де $N_{\text{вант_вар}}$ – кількість вантажників, за варіантами №1-3 становить 3 людини у зміну, працюють 4 бригади, або $4 \cdot 3 = 12$ вантажників;

$ЗП_{\text{вант}}$ – розмір середньої зарплати одного вантажника за місяць – становить 21 тис. грн/міс.

Вартість плати за користування вагонами $V_{\text{пл_вар}}$ визначаємо за виразом:

$$V_{\text{пл_вар}} = N_{\text{ваг_кокс_вар}} \cdot C_{\text{ваг_кокс}}, \quad (3.2)$$

де $N_{\text{ваг_кокс_вар}}$ – тривалість затримки вагонів з коксом до вивантаження за варіантами, год/рік;

$C_{\text{ваг_кокс}}$ – середня вартість вагогодини затримки, $C_{\text{ваг_кокс}} = 71$ грн/год.

Витрати на додаткові вантажні операції $V_{\text{дод_склад_вар}}$ по переміщенню коксу зі складу до бункерів визначаються за формулою:

$$V_{\text{дод_склад_вар}} = N_{\text{ваг_склад_вар}} \cdot C_{\text{ваг_склад}}, \quad (3.3)$$

де $N_{\text{ваг_склад_вар}}$ – кількість вагонів з коксом, які вивантажувались на склад за рік;

$C_{\text{ваг_кокс}}$ – вартість вантажних робіт, $C_{\text{ваг_кокс}} = 310$ грн/вагон за даними підприємства.

Витрати, пов'язані з втратою вантажу через додаткове перевантаження, визначаємо за формулою:

$$V_{\text{втрати_вар}} = Q_{\text{т_кокс_вар}} \cdot C_{\text{т_кокс}}, \quad (3.4)$$

де $Q_{\text{т_кокс_вар}}$ – обсяг коксу, вивантаженого на склад за рік, т;

$C_{\text{ваг_кокс}}$ – вартість коксу, $C_{\text{ваг_кокс}} = 14000$ грн/т.

Загальні витрати по варіантах робіт визначаються за формулою [9]:

$$V_{\text{кокс_заг_вар}} = 3П_{\text{вант_вар}} + V_{\text{пл_вар}} + V_{\text{дод_склад_вар}} + V_{\text{втрати_вар}}. \quad (3.5)$$

Надалі виконаємо розрахунки по варіантах №1-9.

3.1 Витрати за варіантом 1

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$3П_{\text{вант_вар_1}} = 12 \cdot 12 \cdot 21000 = 3024000 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{пл_вар_1}} = 141204 \cdot 71 = 10025484 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{дод_склад_вар_1}} = 2028 \cdot 310 = 628680 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{втрати_вар_1}} = 1772 \cdot 14000 = 24808000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$V_{\text{кокс_заг_вар_1}} = 3024000 + 10025484 + 628680 + 24808000 = 38486164 \text{ грн.}$$

3.2 Витрати за варіантом 2

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар_2}} = 12 \cdot 12 \cdot 21000 = 3024000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар_2}} = 137220 \cdot 71 = 9742620 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар_2}} = 1788 \cdot 310 = 554280 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{втрати_вар_2}} = 1563 \cdot 14000 = 21882000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$В_{\text{кокс_заг_вар_2}} = 3024000 + 9742620 + 554280 + 21882000 = 35202900 \text{ грн.}$$

3.3 Витрати за варіантом 3

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар_3}} = 12 \cdot 12 \cdot 21000 = 3024000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар_3}} = 131784 \cdot 71 = 9356664 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар_3}} = 1428 \cdot 310 = 442680 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{втрати_вар_3}} = 1248 \cdot 14000 = 17472000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$V_{\text{кокс_заг_вар_3}} = 3024000 + 9356664 + 442680 + 17472000 = 30295344 \text{ грн.}$$

3.4 Витрати за варіантом 4

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$3P_{\text{вант_вар_4}} = 12 \cdot 20 \cdot 21000 = 5040000 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{пл_вар_4}} = 119508 \cdot 71 = 8485068 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{дод_склад_вар_4}} = 2028 \cdot 310 = 628680 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{втрати_вар_4}} = 1772 \cdot 14000 = 24808000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$V_{\text{кокс_заг_вар_4}} = 5040000 + 8485068 + 628680 + 24808000 = 38961748 \text{ грн.}$$

3.5 Витрати за варіантом 5

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар}_5} = 12 \cdot 20 \cdot 21000 = 5040000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар}_5} = 119148 \cdot 71 = 8459508 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар}_5} = 1788 \cdot 310 = 554280 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{втрати_вар}_5} = 1563 \cdot 14000 = 21882000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$В_{\text{кокс_заг_вар}_5} = 5040000 + 8459508 + 554280 + 21882000 = 35935788 \text{ грн.}$$

3.6 Витрати за варіантом 6

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар}_6} = 12 \cdot 20 \cdot 21000 = 5040000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар}_6} = 115392 \cdot 71 = 8192832 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар}_6} = 1428 \cdot 310 = 442680 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{втрати_вар}_6} = 1248 \cdot 14000 = 17472000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$В_{\text{кокс_заг_вар}_6} = 5040000 + 8192832 + 442680 + 17472000 = 31147512 \text{ грн.}$$

3.7 Витрати за варіантом 7

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар_7}} = 12 \cdot 36 \cdot 21000 = 9072000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар_7}} = 105900 \cdot 71 = 7518900 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар_7}} = 2028 \cdot 310 = 628680 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{втрати_вар_7}} = 1772 \cdot 14000 = 24808000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$В_{\text{кокс_заг_вар_7}} = 9072000 + 7518900 + 628680 + 24808000 = 42027580 \text{ грн.}$$

3.8 Витрати за варіантом 8

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$ЗП_{\text{вант_вар_8}} = 12 \cdot 36 \cdot 21000 = 9072000 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{пл_вар_8}} = 104460 \cdot 71 = 7416660 \text{ грн.}$$

$$В_{\text{дод_склад_вар_8}} = 1788 \cdot 310 = 554280 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{втрати_вар_8}} = 1563 \cdot 14000 = 21882000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$V_{\text{кокс_заг_вар_8}} = 9072000 + 7416660 + 554280 + 21882000 = 38924940 \text{ грн.}$$

3.9 Витрати за варіантом 9

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1), (3.2), (3.3), (3.4):

$$3P_{\text{вант_вар_9}} = 12 \cdot 36 \cdot 21000 = 9072000 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{пл_вар_9}} = 100344 \cdot 71 = 7124424 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{дод_склад_вар_9}} = 1428 \cdot 310 = 442680 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{втрати_вар_9}} = 1248 \cdot 14000 = 17472000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати за (3.5):

$$V_{\text{кокс_заг_вар_9}} = 9072000 + 7124424 + 442680 + 17472000 = 34111104 \text{ грн.}$$

На наступному етапі проаналізуємо та порівняємо витрати по усіх варіантах.

3.10 Аналіз витрат по варіантах

Результати розрахунків по варіантах 1-9 представлені у таблиці 3.2 та на рисунку 3.1.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків за варіантами 1-9

Варі- ант	Заробітна плата, грн	Плата за користу- вання вагонами, грн	Вартість додаткових вантажних робіт, грн	Втрати вантажу при переван- таженні зі складу, грн	Загальні витрати
1	3024000	10025484	628680	24808000	38486164
2	3024000	9742620	554280	21882000	35202900
3	3024000	9356664	442680	17472000	30295344
4	5040000	8485068	628680	24808000	38961748
5	5040000	8459508	554280	21882000	35935788
6	5040000	8192832	442680	17472000	31147512
7	9072000	7518900	628680	24808000	42027580
8	9072000	7416660	554280	21882000	38924940
9	9072000	7124424	442680	17472000	34111104

Найбільш економічно вигідним є варіант 3 при таких параметрах роботи по вантажопереробці коксу:

- кількість вантажників у бригаді – 3 чоловіка;
- розмір запасу – «складу на колесах» – 50 вагонів.

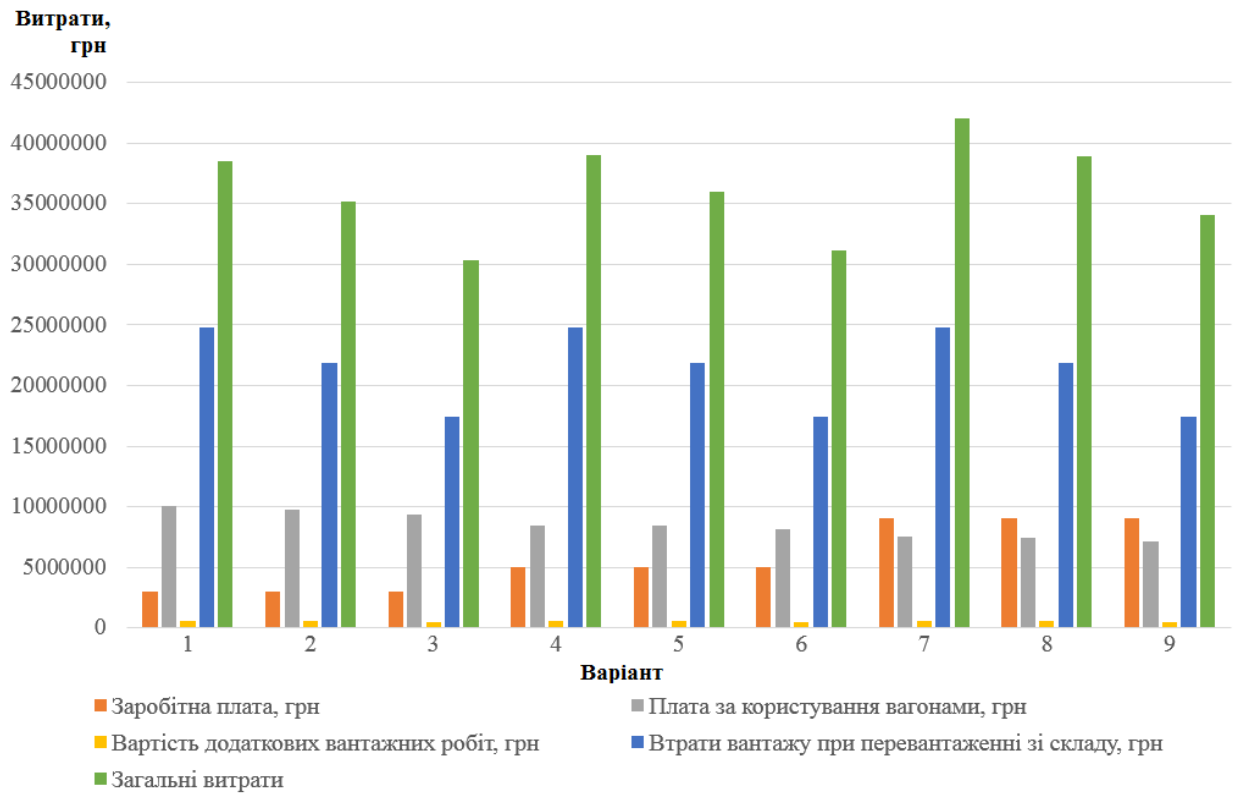


Рисунок 3.1 – Графік витрат по варіантах

3.11 Розрахунок економічної ефективності варіанту робіт

Згідно представлених розрахунків [8,9], економічна ефективність варіанту №3 є найменшою у порівнянні з варіантом №6 – становить:

$$31147512 - 30295344 = 852168 \text{ грн/рік};$$

а найбільшою – у порівнянні з варіантом №7:

$$42027580 - 30295344 = 11732236 \text{ грн/рік}.$$

Капітальні витрати потрібні на придбання програмного комплексу у розмірі 650 000 грн.

Розмір річної економії приймаємо як різницю між найблизьким за показниками варіантом №6 у розмірі 852168 грн/рік.

Термін окупності проєкту [9]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{дв}}}{D_{\text{р}}}, \quad (3.6)$$

де $K_{\text{дв}}$ – капітальні витрати на комп'ютерну програму, 650 000 грн.

Розрахуємо за (3.6):

$$T_{\text{ок}} = 650000 / 852168 = 0,8 \text{ року.}$$

Визначимо чисту поточну вартість проєкту за формулою [9]:

$$NVP = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}, \quad (3.7)$$

де B_t – вигоди від реалізації проєкту за рік t , грн;

C_t – витрати, обумовлені реалізацією проєкту у році t , грн;

i – ставка дисконту;

n – термін життя проєкту – 5 років.

Результати визначення чистої поточної вартості проєктного рішення відповідно до варіанту 3 за формулою (3.7) надані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок чистої поточної вартості

Капітальні витрати за варіантом №3	Вигоди у порівнянні з варіантом №9	Коефіцієнт дисконтування	Чиста поточна вартість NPV
650000	852168	1	202168
	852168	0,87	741386,16
	852168	0,76	647647,68
	852168	0,66	562430,88
	852168	0,57	485735,76
			2639368,48

Економічні показники наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Техніко-економічні показники, грн

№ з/п	Показники	Проектний варіант 3	Базовий варіант 6	Різниця (3-6)
1	Заробітна плата, грн	21171864	20962242	-2016000
2	Плата за користування вагонами, грн	106294	117482	1163832
3	Вартість додаткових вантажних робіт, грн	3943485	3910895	0
4	Втрати вантажу при перевантаженні зі складу, грн	867567	860397	0

Кінець таблиці 3.4

№ з/п	Показники	Проектний варіант 3	Базовий варіант 6	Різниця (3-6)
5	Річні експлуатаційні витрати, грн	30295344	31147512	-852168
6	Термін окупності, років	-	-	0,8
7	Чиста поточна вартість проєкту, грн.	-	-	2639368,48

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В роботі розглядається організація доставки коксу магістральним транспортом на ПАТ «Запоріжсталь».

В проекті розглядається аналіз потенційних небезпек, які можуть вплинути на дослідника під час збору даних для дипломної роботи та проводяться заходи по їх усуненню [10].

Вивантаження коксу проводиться на підвищених коліях (естакадах), проводиться з люкових вагонів шляхом відкривання люків вантажниками служби вивантаження-очистки.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Основні потенціальні небезпеки:

- при накопичуванні та при зберіганні коксу на відкритих майданчиках можливі ураження дихальних шляхів з-за коксового пилу;
- при перевантаженні пеку на транспорт навалом при швидкості повітря більш 3 м/сек кокс може оказувати фотодинамічний вплив (дія на кожу) на людину, яка знаходиться майже на відстані до 25 м від місця виробництва перевантаження.
- ураження робітників та дослідника електричним струмом від не ізольованих чи пошкоджених кабелів порталних кранів, що призводить до електричної травми людини або пожежі.
- наїзди залізничним транспортом на робітників та дослідника у разі неузгодження дій складачів поїздів з головним диспетчером

та інші небезпечні фактори, які вплинуть на дослідника та робітників, які вказані в Додатку А.

В Додатку Б показані заходи по їх усуненню [10,11]. В Додатку В розроблені розрахунки з даних, заміряних шкідливих факторів в лабораторії дослідника, де є ПК, для визначення доплати за ці шкідливі фактори.

4.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Заходи безпеки з пожежної безпеки

Для попередження займання ізоляції на складі необхідно захистити електропроводку від пошкодження, розмістивши її в товстостінні труби, відповідно вимогам ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека». На складі з вугіллям клас можливої пожежі буде визначен як «А», а категорія приміщення складу по пожежній безпеці – до «Г». Площа складу складає – 1450 кв.м. Згідно НАПБ 03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» обираються 6 порошкових вогнегасників ВП-8. Первинні засоби пожежогасіння розташовуються при вході до складу на пожежному щиті, та із внутрішньої сторони на стінах чи колонах складу [10].

Для запобігання пожежі на кранах необхідно слідкувати за ізоляцією кабелів, забезпечити захист від їх пошкодження. На крані повинен знаходитися вогнегасник ВВК-5.

На майданчику площею 4600 кв м необхідно розташувати пожежні щити. Клас можливої пожежі на майданчику дорівнюється А (кокс), по пожежонебезпеці до категорії Д. Необхідна кількість вогнегасників згідно НПБ 03.001- 2004 «Типові норми належності вогнегасників» обираються 12 водяно порошкові вогнегасники ВП-8. Первинні засоби пожежогасіння розташовуються на пожежних щитах.

4.2.2 Заходи з цивільного захисту

Цивільний захист (ЦЗ) на промисловому об'єкті (надалі - на об'єкті) організується з метою захисту персоналу об'єкта і населення, що проживає поблизу від нього, від надзвичайних ситуацій (НС) природного, техногенного і військового характеру [10].

Основними завданнями ЦЗ на об'єкті є:

- захист персоналу об'єкта і населення від НС;
- підвищення стійкості функціонування об'єкта в умовах НС;
- проведення аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт у вогнищах ураження і зонах катастрофічного затоплення.

На всіх об'єктах цивільний захист (ЦЗ) організовується з метою своєчасної підготовки їх до захисту від наслідків надзвичайних ситуацій (НС), зниження втрат, створення умов для підвищення стійкості роботи об'єктів і своєчасного проведення рятувальних і інших невідкладних робіт (РІНР).

Відповідальність за організацію й стан ЦЗ, за постійну готовність її сил і умов до проведення РІНР несе відповідальність начальник ЦЗ (НЦЗ) об'єкта – керівник підприємства, установи, організації.

Штаб ЦЗ проводить захід щодо захисту працівників і службовців і забезпечує своєчасне оповіщення населення про погрозу або виникнення НС. Організовує й забезпечує безперервне керування ЦЗ. Розробляє план дій органів керування й сил ЦЗ об'єкта із застереженням і ліквідації НС, періодично змінюється й організовує його виконання. Організовує й контролює навчання працівників, що служать із ЦЗ й підготовки невоєнізованих формувань об'єкта.

На об'єкті залежно від характеру його виробничої діяльності створюються служби ЦЗ: оповіщення і зв'язки; медична; радіаційного й хімічного захисту; охорони цивільного порядку; протипожежна; енергопостачання й світломаскування; аварійно-технічна; притулків і вкриттів; транспортна; матеріально-технічного постачання й інші. На них покладає виконання спеціальних заходів і забезпечення дій формувань при проведенні РІНР.

Управління службами виконують їх начальники, які призначаються наказом НЦЗ об'єкта, із числа начальників відділів, цехів, на базі яких вони створені. Начальники служб зобов'язані підтримувати в постійній готовності сили і засоби служби, знати моральні та ділові якості підлеглих і проводити з ними виховну роботу, заняття і навчання. Начальники служб беруть участь у розробці плану дій органів управління і сил із запобігання та ліквідації НС і самостійно розробляють необхідні документи служби. На них покладає своєчасне забезпечення підлеглих формувань спеціальним майном і технікою.

ВИСНОВКИ

Актуальність необхідності планування можливих ситуацій забезпечення ефективності транспортних технологій в умовах зміни доменного процесу через нестабільність постачань палива обумовлена військовим вторгненням на Україну.

Організація доставки коксу для доменного цеху магістральним залізничним транспортом є реальною перспективою при такій або схожій ситуації, коли існують обмеження доставки палива від традиційних джерел постачання.

Переваги доставки коксу за традиційного близького розташування коксохімічного виробництва поруч із доменним:

- своєчасне реагування на зміну потреби у паливі для доменного виробництва;
- рівномірність постачань;
- можливість планового створення запасів коксу;
- зменшення втрати коксу через подрібнення в процесі транспортування;
- зменшення втрат фізико-хімічних властивостей від негативної дії зовнішнього середовища, зокрема, температурних коливань та опадів, через нетривалий час доставки;
- можливість оперативного розгляду претензій за кількістю та якістю через найкоротший термін прибуття представників постачальника до споживача;

зникають та з'являються проблеми, які обумовлюють необхідність вирішення наступної науково-практичної задачі.

Вона полягає в організації процесу доставки коксу з урахуванням необхідності визначення розміру запасу коксу «на колесах», який оперативно

може бути поданий при нестачі вантажу на підходах, але потребує збільшення плати за користування вагонами, визначення раціональної кількості вантажників для розвантаження вагонів.

Створена імітаційна модель, завдяки експериментальним дослідженням на ній, дозволила встановити технологічно прийнятні варіанти організації транспортних технологій за умов доставки коксом магістральним залізничним транспортом.

Виконані економічні розрахунки дозволили порівняти ці варіанти за економічними показниками та обрати з них найефективніший за цим критерієм.

Це є варіант №3 при таких параметрах роботи по вантажопереробці коксу:

- кількість вантажників у бригаді – 3 чоловіка;
- розмір запасу – «складу на колесах» – 50 вагонів.

Економія річних експлуатаційних витрат складає 852168 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ПрАТ «ЮЖКОКС» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Кам'янське : ПрАТ «ЮЖКОКС», 2022. – Режим доступу: <https://www.bkoks.dp.ua/company/> (дата звернення 18.10.2022) – «Про підприємство».
2. Підготовка вугільної шихти та виробництво коксу [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Дніпро, 2022. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=0iNmcOIWezs> (дата звернення 18.10.2022) – «Технологія коксохімічного виробництва».
3. Офіційний сайт ПАТ «Запоріжсталь» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Запоріжжя : ПАТ «Запоріжсталь», 2022. – Режим доступу: <https://zaporizhstal.com/pres-centr/novini/> (дата звернення 18.10.2022) – «Новини».
4. Технічно-розпорядчий акт станції Доменна. – Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь», 2020. – 27с.
5. Міжцехова інструкція по взаємодії працівників доменного, мартеновського, агломераційного цехів, цеху водопостачання, цеху шлакопереробки, ТЕЦ, ВВО з працівниками Доменного залізничного району ЦЕ УЗТ при обслуговуванні залізничними перевезеннями. – Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь», 2009. – 42с.
6. Бабушкін, Г.Ф. Технологія та організація транспортно-складських робіт на промисловому транспорті : Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 190 с.
7. Турпак, С. М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств [Текст]: монографія / С. М. Турпак. – Херсон : Грін Д. С., 2015. – 264 с.

8. Економіка залізничного транспорту [Текст]: підручник / за ред. Ю. В. Кулаєва, Ю. С. Бараша, М. В. Гненного; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, 2014. - 480 с.

9. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Основи економіки транспорту» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275 «Транспортні технології» / Укл.: ст. викл. Харченко Т.В. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – 36 с.

10. 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,

11. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила)

12. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми)

ДОДАТОК А

АНАЛІЗ ДОДАТКОВИХ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

Додатковими потенційними небезпеками є:

- при навантаженні коксу, який в стані навалом, пил сильно діє на організм вантажника і на дослідника. При вдиханні можливе запалення слимакових дихальних шляхів, а також явлення загального отруєння (нудота);
- при розвантаженні з хоперів вантажу, можливо обрушення сипучих матеріалів на робітників, що призведе до травм;
- при вантажно-розвантажувальних роботах можливо переохолодження робітників в холодний час року, що призводить до простудних захворювань.
- недостатньо освітлення на накопичувальних майданчиків може призвести до обрушення коксу з-за невірної навантаження-розвантаження;
- при перевезенні коксу навалом, є можливість його розм'якшення при підвищених температурах до 80°C (в залежності від сорту) та затвердіння. При охолодженні створюється маса, яка важко розколюється. При розколюванні пеку виникає велика кількість пилу;
- при перевантаженні коксу на транспорт навалом при швидкості повітря більш 3 м/сек кокс може оказувати фотодинамічний вплив (дія на шкіру) на людину, яка знаходиться майже на відстані до 25 м від місця виробництва перевантаження;
- ураження робітників та дослідника електричним струмом від не ізольованих чи пошкоджених кабелів порталних кранів, що призводить до електричної травми людини або пожежі;
- наїзди залізничним транспортом на робітників та дослідника у разі неузгодження дій складачів поїздів з головним диспетчером.

ДОДАТОК Б

ЗАХОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ

1. Під час розвантаження коксу з хоперів необхідно, при відкритті люків, робітнику відійти на безпечну відстань щоб запобігти травмування. «Правила охорони праці під час навантажувальних-розвантажувальних робіт» Наказ № 21 від 19.01.2015.

2. При навантаженні коксу, який в стані навалом, його збризкують водою перед навантаженням для зменшення пиловиникнення. Для цього на ділянці встановлюють водопровідні крани для поливу та каналізаційні трапи.

3. Вантажні роботи з коксом та його транспортування не дозволяється при швидкості повітря більш ніж 3 м/сек. Всі роботи на відкритому повітрі повинні виконуватися відповідно Наказу № 822 від 26.07.2004 «Про затвердження Правил норм перевезення небезпечних вантажів».

4. Для уникнення можливих наїздів залізничним транспортом необхідно щоб робітники та дослідники були вдягнені в жилети зі світловідбивними смугами та узгоджувати свої дії з головним диспетчером по радіозв'язку відповідно Наказу № 822 від 26.07.2004 «Про затвердження Правил норм перевезення небезпечних вантажів».

5 Для попередження ураження електричним струмом не обхідно проводити перевірку знань на 4 чи 3 групи з електробезпеки , забезпечувати устрій захисного заземлення, проводити періодичні перевірки справності кабельних барабанів. Всі силові кабелі для уникнення випадкового пошкодження укладені в спеціальні жолоба.

Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці [11,12].

1. Для забезпечення не попадання пилу від руди, коксу, вапняк та інших в легені робітників необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту. До таких відноситься застосування респіраторів. ДСТУ 7339:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту».

2. Для попередження переохолодження робітників необхідно забезпечити їх теплим одягом відповідно ДСТУ 7339:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту».

3. Для забезпечення нормативного рівня освітленості на майданчику навантаження передбачено обладнання освітленості в розмірі 30 лк відповідно ДБН В.2-5-28-2018 «Природне та штучне освітлення» . Робоче освітлення розміщено на щоглах поза зоною майданчика. Для освітлення застосовуються прожектори типу ПЗС-35 з газорозрядними лампами ДРЛ-700.

ДОДАТОК В

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА В ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ЛАБОРАТОРІЇ

Відповідно замірам в лабораторії де є ПК, заносимо ці дані в таблицю В.1 відповідності, що впливають на дослідника в процесі провадження іспитів.

Таблиця В.1 – Фактори, що впливають на дослідника

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії <i>год.</i>
Умови праці:		
Мікроклімат за ТНС-індексом, t , °C	27	8
Освітленість приміщення E , лк	320	8
Розряд і підрозряд зорових робіт, Z_{op}	A-2	—
Рівень шуму L , дБ А	86	5
Напруженість праці:		
Загальні енергозатрати організму, Вт	300	7
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6
Важкість праці:		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7
Тривалість робочого дня, <i>год.</i>	8	8

Відповідно до додатка А [10], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за

витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії Іб.

З додатків [10], відповідно до категорії робіт Іб, розряду зорових робіт А-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці В.2 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Таблиця В.2 - Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{вим}$	Час дії год.(хв.)	ГДК, ГДР, показники, $P_{дон}$	$X_{визн}$, бали	Клас умов праці	X_i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, t , °C	27	8	22,9-25,8	3	3.3	3
Освітленість приміщення E , лк	320	8	400	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $З_{ор}$	А-2	—	—	—	—	—
Рівень шуму L , дБА	86	5	50	—	3.1	0,63
Загальні енергозатрати організму, Вт	300	7	290	0,91	3.2	2
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6	40000	0,71		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7	75	0,89		
Тривалість робочого дня, год.	8	8	8	0,15		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносимо їх значення до стовпчика 5, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [10]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінці мікроклімату визначаємо в балах, за формулою:

$$X_{\text{визн}} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{3 \cdot 8}{8} = 3$$

- для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулами:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{визн}} = \frac{П_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}} = \frac{300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,91;$$

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

$$X_{\text{визн}} = \frac{П_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}} = \frac{38000 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 0,71;$$

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

$$X_{\text{визн}} = \frac{П_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}} = \frac{76 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,89;$$

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

$$X_{\text{визн}} = \frac{П_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{дон}}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,15;$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика б,

таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 2$, з таблиці 7.2 – 3 клас, 2 ступінь (3.2) [10];
- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 320$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 – 3 клас, 1 ступінь (3.1) [10];
- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 86$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 – 3 клас, 1 ступінь (3.1) [25];
- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою [10]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,91 + 0,71 + 0,89 + 0,15 = 2,66$$

З таблиці [10] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 2,66$ – 3 клас, 2 ступінь (3.2);

Тому що загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 2 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження 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 стовпчика 7, таблиці «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 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 7.4 [10]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{5}{8} = 0,63$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 2 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 2$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою [10]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 1 + 0,63 + 2 = 6,63$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 6,63$, 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», розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 16 % [10].

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 інженера-дослідника центральній заводської 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 Іб, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії Іб, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - 20,2-22,8°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відповідає розряду зорових робіт А-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 400$ лк;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 50 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 174 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 кондиціонування 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 [10], у розмірі 16 %.