ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

з підготовки і захисту комплексного курсового проєкту

Для студентів	2 курсу
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	G «Інженерія, виробництво та будівництво»
Спеціальність	G9 «Прикладна механіка»
Освітньо-професійна програма	Смартпромисловість
Факультету	Інженерії та транспорту

Хмельницький – 2025 р.

Методичні рекомендації з підготовки і захисту комплексного курсового проєкту для здобувачів 2 курсу другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Смартпромисловість» галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» / Д. О. Дмитрієв – Херсон : ХНТУ, 2026. – 92 с.

Розробники: д.т.н., професор Дмитрієв Д.О.

Затверджено на засіданні кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Протокол № __2___ від "_19_" __вересня__2025 року

Завідувач кафедри АРМ _____ Ігор СЄЛІВЕРСТОВ

Схвалено групою забезпечення спеціальності G9 «Прикладна механіка»
Протокол № _02_ від "_19_" __вересня__2025 року

Керівник групи
забезпечення

Схвалено науково-методичною радою
факультету Інженерії та транспорту
Протокол № __1___ від "_30_" __серпня__2025 року

Голова _____ Ольга ВОЙТОВИЧ

Узгоджено з навчально-методичним відділом

Реєстраційний номер №__127-17__ від _19.01.2026__

© ХНТУ, 2025

ЗМІСТ

Вступ 4
1. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ 4
1.1.Основні стадії проектування виробничих систем 4
1.2. Методологія імітаційного моделювання 4
1.3.Основні цілі і завдання імітаційного моделювання 5
1.4.Постановка експериментів. Моделювання сценарію «що, якщо?» 9
1.5.Алгоритм оптимізації моделі 11
2. PLANT SIMULATION - СИМУЛЯТОР ПОБУДОВИ ОСНОВИ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА 19
2.1. Короткий опис 19
2.2. Особливості продукту 20
2.3. Використання 20
3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ В СИСТЕМІ TECNOMATIX PLANT SIMULATION 21
3.1. Моделювання виробничої лінії 21
3.2. Імітація виробничого процесу 23
3.3. Аналіз результатів імітації і корекція моделі 23
3.4. Створення власного класу об'єктів 27
3.5. Методи розподілу завантаження між верстатами 34
3.6. Створення власної стратегії розподілення деталей 39
3.7. Аналіз результатів імітації та корекція моделі 44
3.8. Моделювання виробничої лінії з робітниками 48
3.9. Моделювання в режимі 3D 55
3.10. Екпериментальні дослідження в менеджері з дослідів у середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation 67
3.11. Методи вивчення витрат робочого часу спостереженням 66
4. СИСТЕМА КПЕ ЗГІДНО СТАНДАРТУ ISO 22400 81
4.1 Ієрархія керування виробництвом 81
4.2. Мета застосування КПЕ 83
4.3. Опис КПЕ 84
4.4. Вибір КПЕ 85
4.5. Типи КПЕ 86
4.6. Визначення КПЕ 88
Рекомендована література 91

ВСТУП

Комплексний курсовий проєкт є обов'язковою складовою підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 – Прикладна механіка освітньо-професійної програми «Смартпромисловість». Його виконання спрямоване на інтеграцію теоретичних знань, практичних навичок і компетентностей, набутих під час вивчення фахових дисциплін, зокрема у сфері управління якістю, сертифікації продукції, CALS-технологій, PLM-систем та цифрових двійників у контексті сучасного Smart-виробництва.

Метою виконання комплексного курсового проєкту є формування у здобувачів освіти здатності до системного інженерного мислення, розроблення та обґрунтування комплексних рішень для цифрових виробничих систем, а також застосування міжнародних і національних стандартів при проєктуванні, аналізі та оптимізації процесів життєвого циклу продукції. Особлива увага приділяється інтеграції підходів управління якістю, процедур сертифікації, CALS-технологій і цифрових двійників з подальшим розрахунком ключових показників ефективності виробництва відповідно до вимог ДСТУ 22400.

Методичні рекомендації розроблені з метою надання здобувачам чітких орієнтирів щодо структури, змісту, етапів виконання та оформлення комплексного курсового проєкту, а також вимог до його захисту. У рекомендаціях визначено послідовність виконання завдань, наведено вимоги до аналітичної, проєктної та розрахункової частин роботи, а також окреслено критерії оцінювання результатів.

Виконання комплексного курсового проєкту сприяє розвитку професійних компетентностей магістра з прикладної механіки, зокрема здатності розробляти інноваційні інженерні рішення за умов невизначеності, використовувати сучасні цифрові інструменти та програмні комплекси, аналізувати досвід провідних світових виробництв і аргументовано презентувати результати власних досліджень та проєктних рішень.

Методичні рекомендації адресовані здобувачам вищої освіти, які виконують комплексний курсовий проєкт, а також можуть бути корисними для науково-педагогічних працівників, що здійснюють керівництво та консультування з питань проєктної підготовки магістрів у галузі прикладної механіки та смартпромисловості.

1. ¶ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

При проектуванні виробничої логістичної системи використовується метод математичного моделювання – імітаційне моделювання. Суть методу полягає у заміні реальної системи цифровою моделлю та моделюванні на ній процесів функціонування реальної виробничої системи. Ефективність використання цього методу багато в чому визначається наявністю та функціоналом спеціальних програмних рішень [9].

1.1. Основні стадії проектування виробничих систем

a). Побудова та оптимізація моделі виробничої системи.

b). Розробка проектної документації:

- розробка компоновки виробничої системи;
- розробка технологічних планувань виробничих підрозділів.

c). Розробка виробничо-технологічних вимог до будівельної частини проекту.

1.2. Методологія імітаційного моделювання

Системна динаміка – метод моделювання, при якому для досліджуваної системи будуються графічні діаграми причинних зв'язків і глобальних впливів одних параметрів на інші в часі, а потім створена на основі цих діаграм модель імітується на комп'ютері.

Дискретно-подієве моделювання – метод моделювання, що пропонує абстрагуватися від безперервної природи подій і розглядати тільки основні події, що моделюються, такі як: очікування, обробка замовлення (виконання технологічної операції), переміщення об'єкта виробництва.

*Агентне мо*делювання – метод, що описує індивідуальні правила поведінки активних об'єктів, їх взаємодію між собою і з зовнішнім середовищем.

1.3.Основні цілі і завдання імітаційного моделювання

Проектування виробничого підрозділу з нуля

a). Проектування технологічних процесів:
- побудова технологічного процесу;
- виділення критичних шляхів;
- формування специфікації виробничого обладнання;
- формування структури робочих місць.

b). Проектування планувань виробничих підрозділів.

c). Проведення імітаційного моделювання роботи ВС, в тому числі руху матеріальних потоків через ВС:
- визначення часу виробничого циклу;
- виявлення вузьких місць. Управління коефіцієнтами завантаження устаткування;
- проведення ряду ітерацій для оптимізації по варійованим параметрам.

Рішення оптимізаційних завдань на існуючому виробництві

d). Побудова технологічних процесів:
- імпорт у систему технологічних процесів;
- імпорт каталогів технологічного обладнання, СТО тощо;
- виділення критичних та навколокритичних шляхів;
- призначення вартісних та часових параметрів для елементів системи.

e). Проектування планувань виробничих підрозділів.

f). Проведення імітаційного моделювання роботи ВС, зокрема руху у матеріальних потоків ВС:
- визначення часу виробничого циклу;
- виявлення вузьких місць. Управління коефіцієнтами завантаження обладнання;
- проведення ряду ітерацій для оптимізації за параметрами, що варіюються.

g). Вхідні дані:
- номенклатура виробів, заготовок і графік поставок;
- елементи технологічної системи;
- елементи транспортної системи;
- елементи складської системи;
- правила руху матеріальних потоків;
- робочі зміни і графік робіт рис.1.1

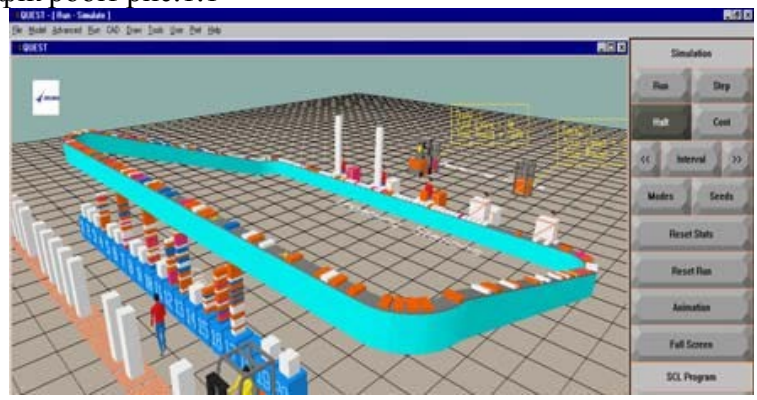


Рис. 1.1 Програмне середовище, що ілюструє технологічний процес

h). Вихідні дані:
- 2D або 3D модель логістичної системи, що наведені рис.1.2-1.4;

- звіти(Статистичні дані);
- найкращі рішення по організації роботи виробничої системи рис.1.5 -1.8;
- оптимальні значення параметрів логістичної системи (цільові функції).



Рис. 1.2 Імітаційне моделювання за допомогою програмного середовища

і). Типові елементи фізичної моделі виробничої системи (рис. 1.3.).



Рис.1.3 Типові елементи фізичної моделі виробничої системи

j). Побудова фізичної моделі виробничої системи

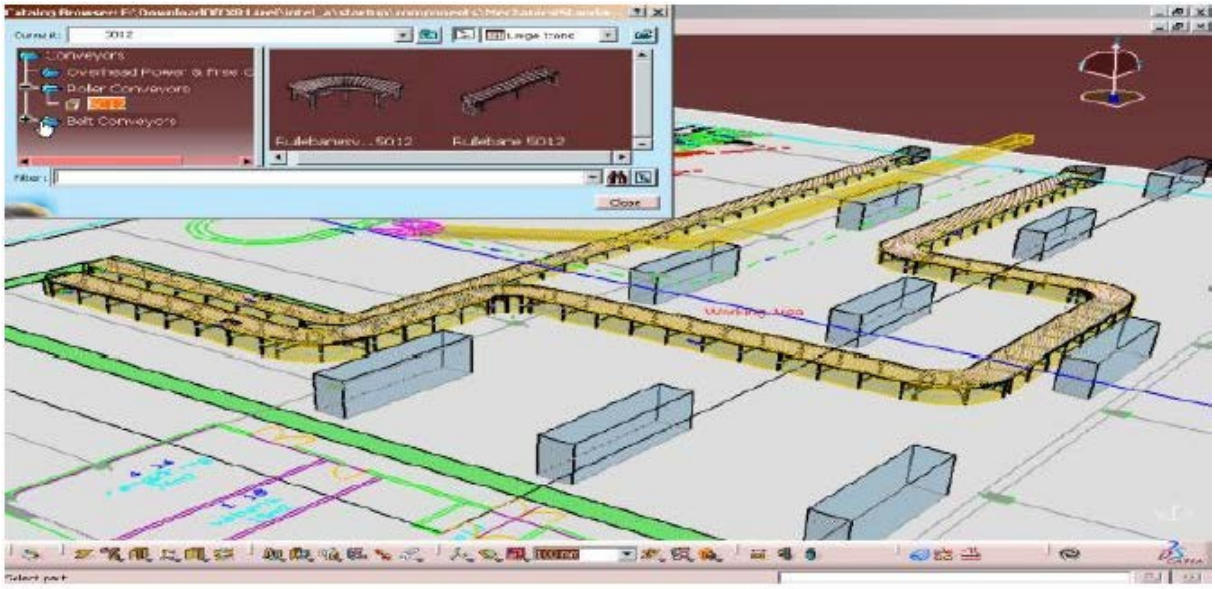


Рис.1.4 Побудова фізичної моделі виробничої системи

k). Верифікація фізичної моделі виробничої системи

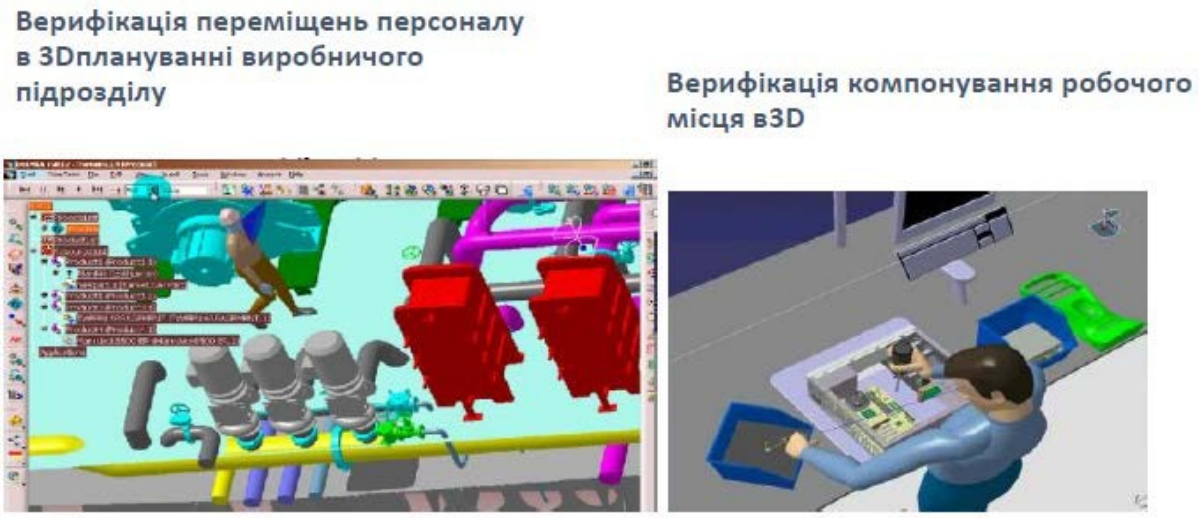


Рис.1.5 Верифікація фізичної моделі виробничої системи

l). Типові елементи логічної моделі виробничої системи

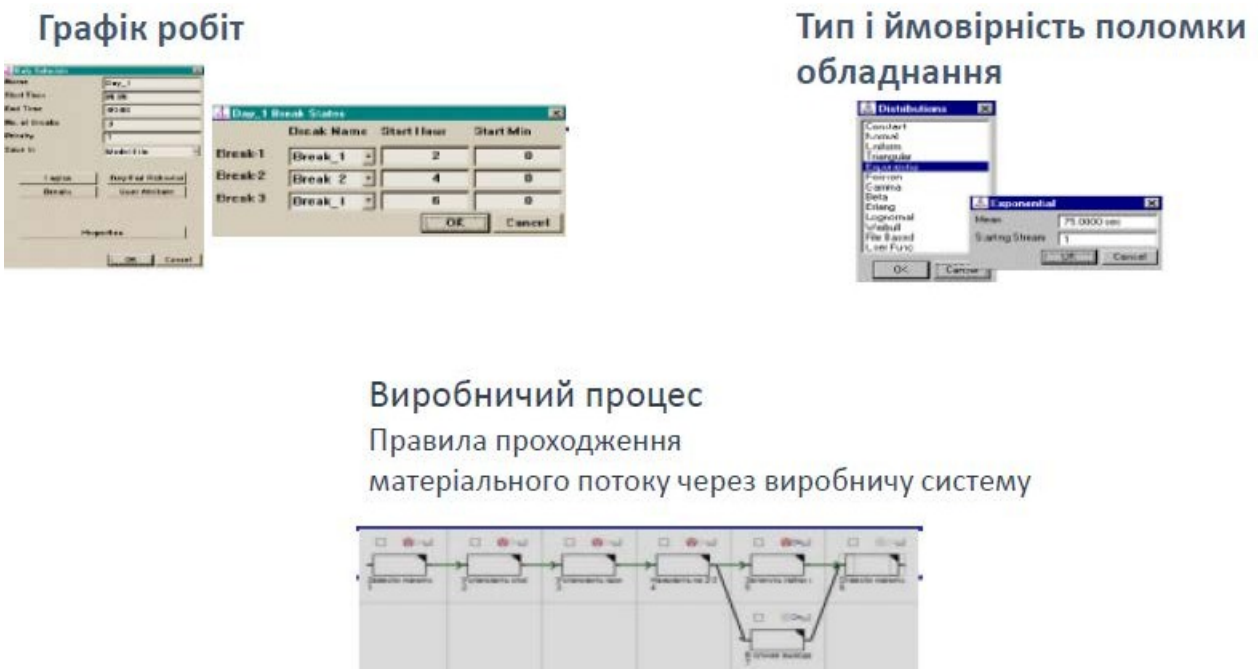


Рис. 1.6 Типові елементи логічної моделі виробничої системи

m). Побудова логічної моделі. Проектування матеріальних потоків

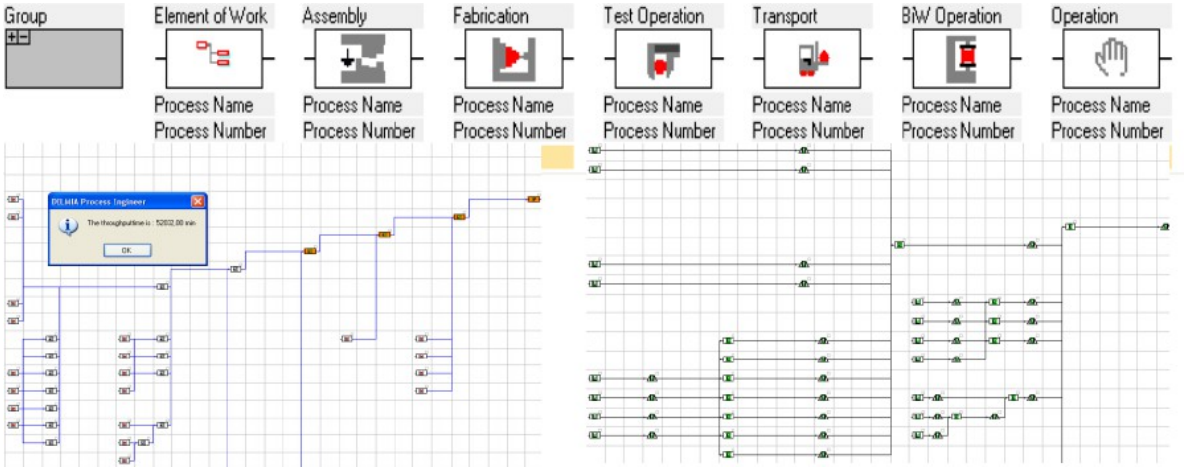


Рис.1.7 Побудова логічної моделі

n). Формування переліку операцій технологічного процесу

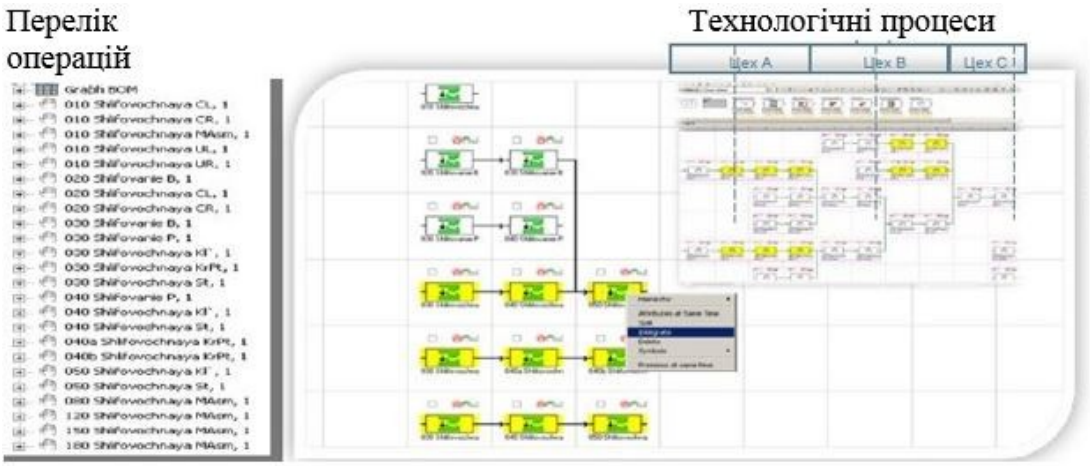


Рис.1.8 Формування переліку операцій технологічного процесу

о). Попереднє визначення складу і кількості:

- визначення структури цеху;
- визначення складу і кількості обладнання на будь- якій ділянці;
- формування попереднього планування ілюстровано на рис.1.9;
- визначення технологічної собівартості виготовлення комплексних деталей в кожному цеху;
- визначення технологічної сумарної собівартості виготовлення комплексних деталей;
- коригування складу і кількості обладнання;
- формування попереднього планування цехів.

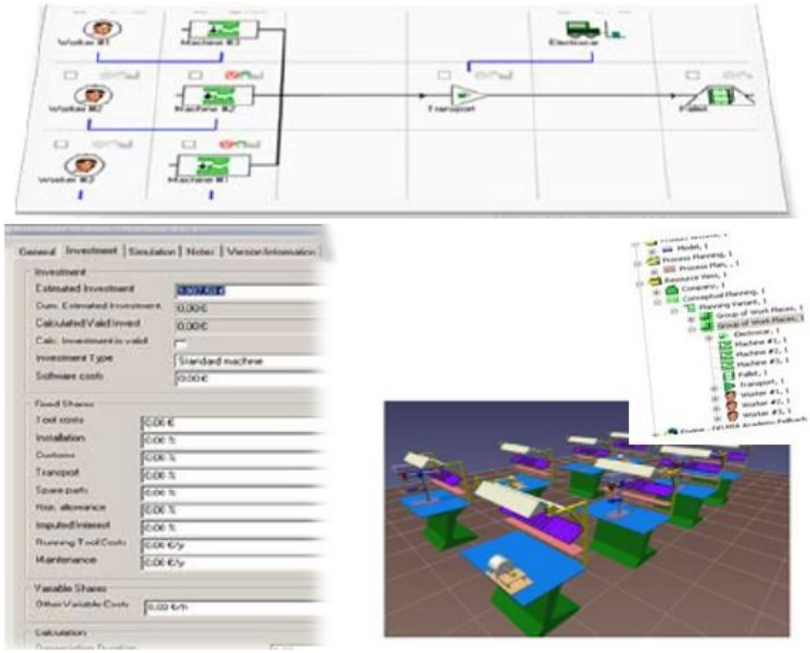


Рис.1.9 Попереднє визначення складу і кількості

1.4 Постановка експериментів. Моделювання сценарію «що, якщо?»

а). Постановка експерименту: визначення керованих змінних моделі рис.1.10;



-

Рис.1.10 Керовані змінні моделі

- завдання діапазону і кроку зміни значень керованих змінних (рис.1.11);

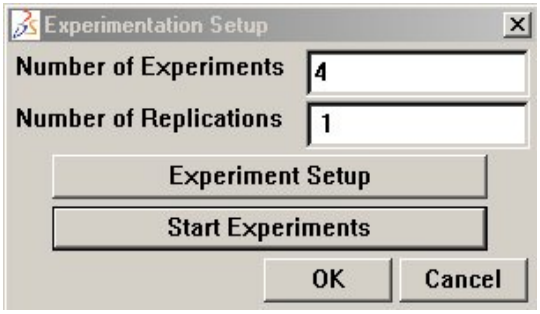
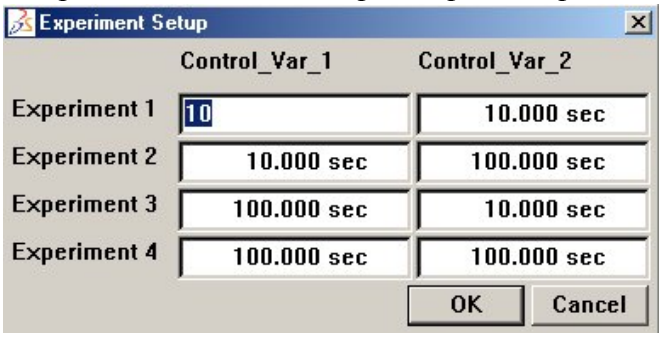


Рис. 1.11 Діапазон і крок зміни значень керованих змінних

- завдання параметрів експерименту рис.1.12;

Запуск експериментів. *Рис. 1.12 Параметри експерименту*



b).

c). Виведення отриманих результатів рис.1.13.

Part Classes

Name	Avg. Residence Time				Created Parts				Destroyed Parts			
	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 1	Run 2	Run 3	Ru
Part1	0.454	0.486	0.454	0.486	2048	2051	2048	2051	2041	2043	2041	2(
Pallet1	0.000	0.000	0.000	0.000	11	11	11	11	0	0	0	

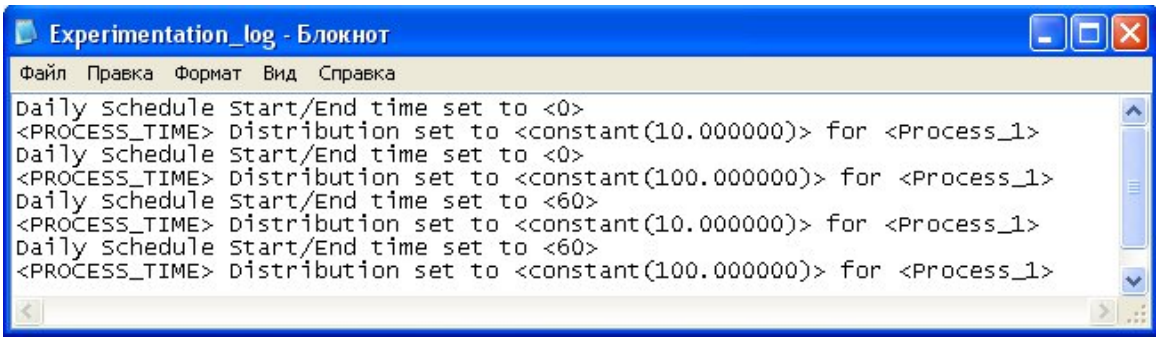


Рис.1.13 Отриманні результати

d). Виведення статистичних даних рис.1.13.



Рис. 1.14 Статистичні данні

1.5 Алгоритм оптимізації моделі

Постановка оптимізаційної задачі

Приклади постановок оптимізаційних задач:

- мінімізація виробничого циклу;
- мінімізація виробничої собівартості.

a). Завдання діапазону і кроку зміни значень параметрів цільової функції – керованих змінних.

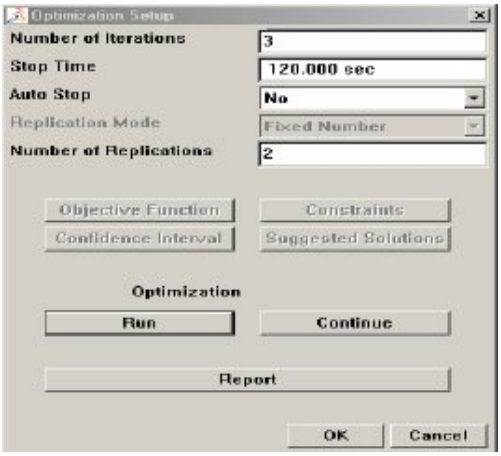
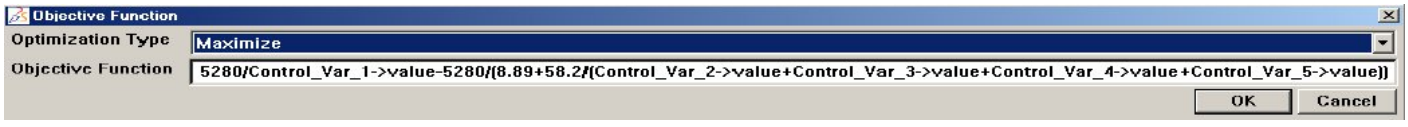


Рис.1.15 Діапазон і крок зміни значень параметрів цільової функції

b). Визначення цільової функції рис.1.16.

Рис. 1.16 Цільова функція



c). Завдання кількості ітерацій і повторень.

d). Завдання умов зупинки процесу оптимізації.

e). Завдання граничних умов 1.17.

f). Запуск процесу оптимізації моделі.

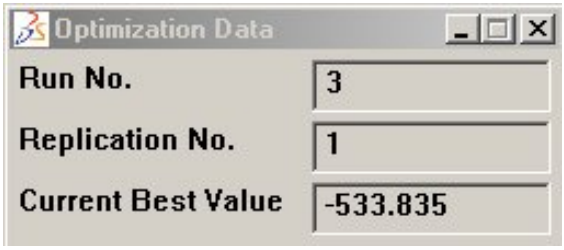
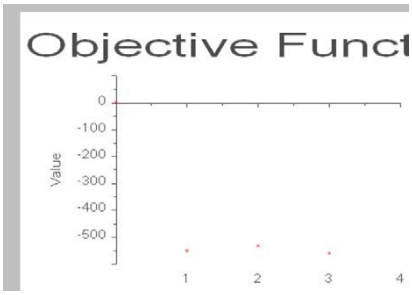
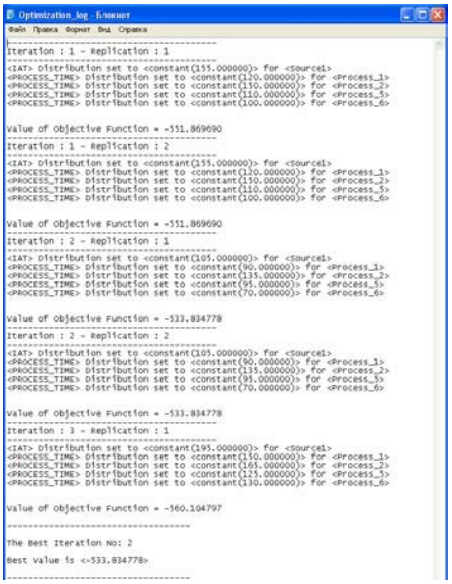


Рис. 1.17 Оптимізація моделі

g). Виведення одержаних результатів рис.1.18.

На екран монітора У файл





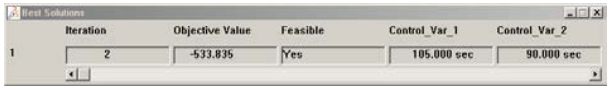


Рис. 1.18 Одержанні результати

h). Вартісний аналіз варіантів планувань виробничої системи (рис. 1.19).

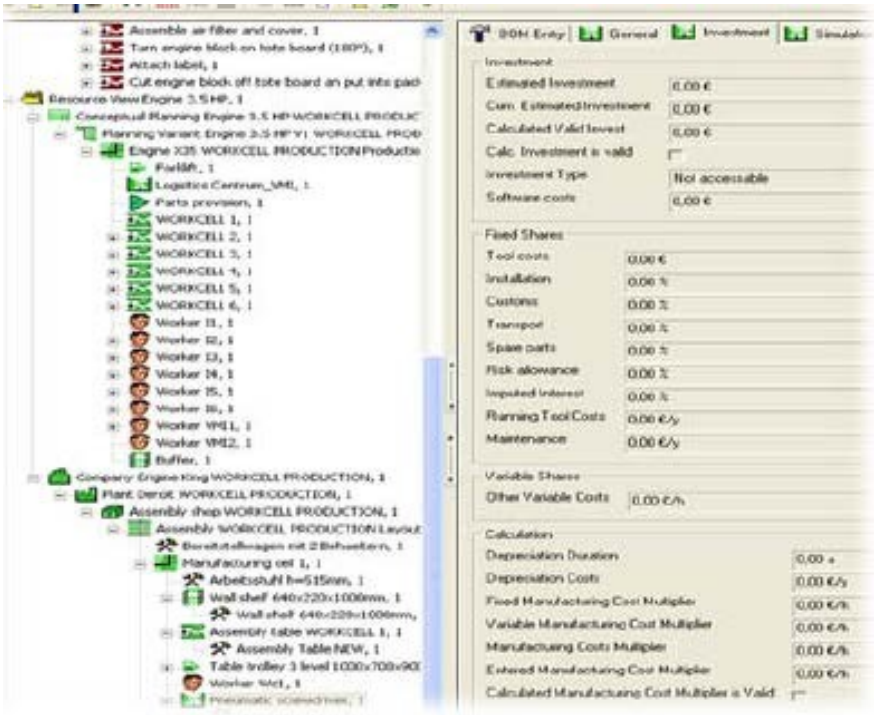


Рис.1.19 Розрахунок вартості виробничого обладнання

і). Аналіз варіантів планувань і вибір оптимального рішення (рис. 20).
¶

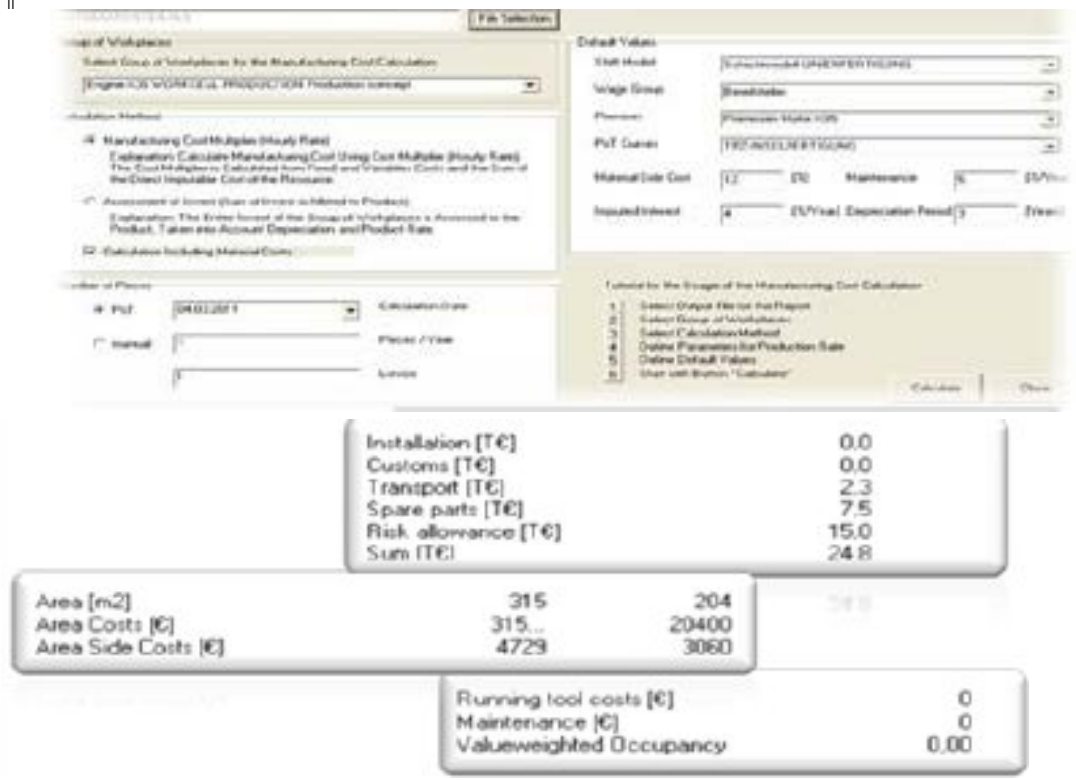


Рис.1. 20 Аналіз варіантів планувань і вибір оптимального рішення

Етапи оптимизації

a). Розробка планування цеху на рис 1.21.

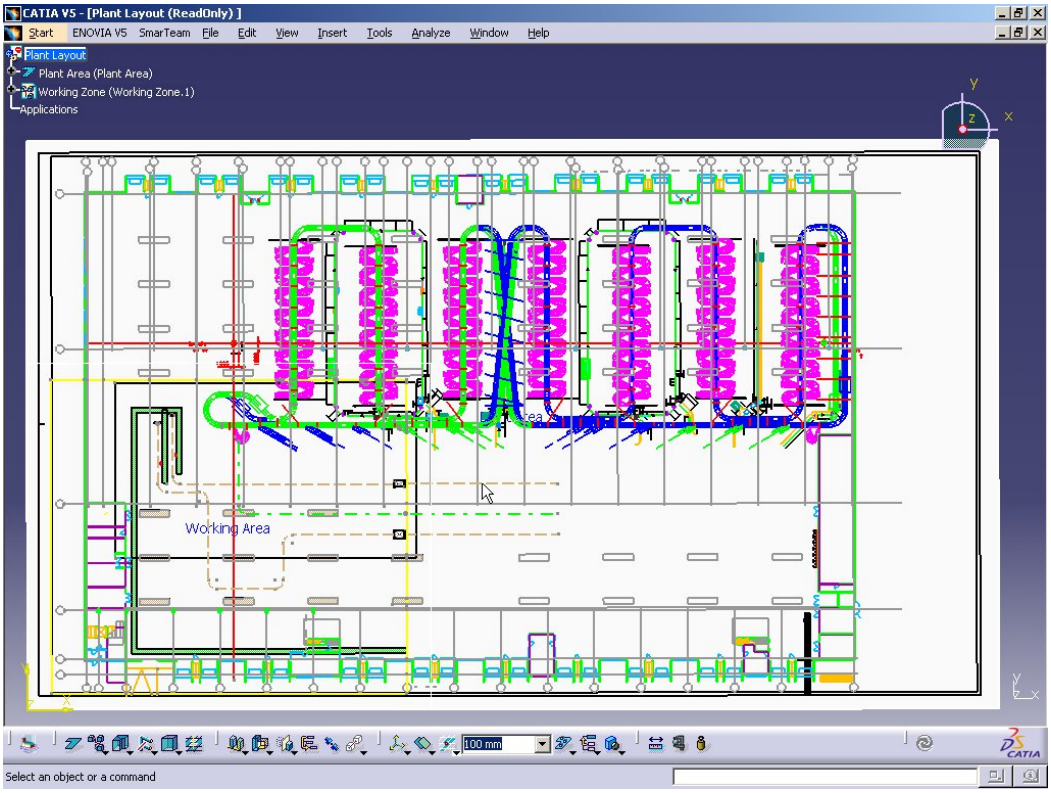


Рис1.21 Планування цеху

b). Розробка проектної документації.

¶:

- вимоги до фундаментів під основне і допоміжне обладнання;
- вимоги до підлоги, виходячи з значень навантаження на них транспортних засобів;
- вимоги до виробничих приміщень за рівнем вологості повітряного середовища, температури, запиленості та інше;
- вимоги до комунікацій для забезпечення роботи виробничого обладнання (електропостачання, стисненого повітря, водопостачання тощо).

d). Приклад виконаного проекту технічного переозброєння.

Мета – забезпечення заданої продуктивності цеху. Принцип організації цеху – предметно-замкнутий рис.1.23.

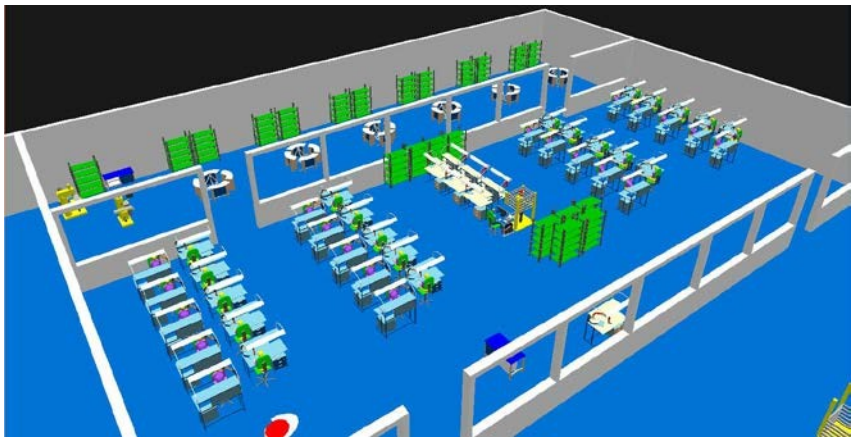


Рис. 1.23 Предметно-замкнутий принцип організації цеху

e). Початкові дані (1.24):

- планування цеху;
- номенклатура цеху;
- технологічні процеси;
- розрахунок продуктивності (статичний) N, шт / рік.



Рис.1. 24 Проект технічного переозброєння

f). Правила проходження матеріальних потоків через виробничу систему ¶ділянки цеху (логічна модель) рис.1.23.

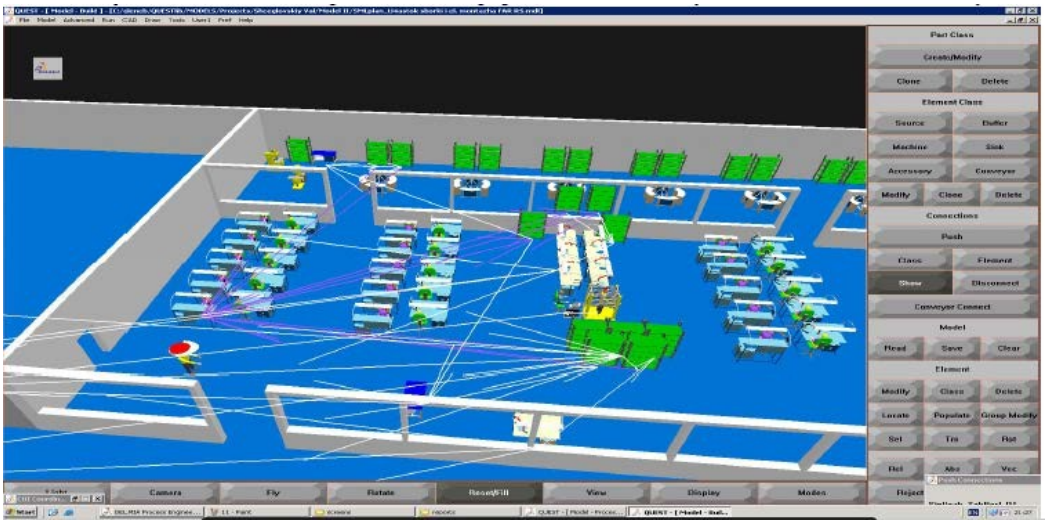


Рис.1. 25 Логічна модель ділянки цеху

g). Візуалізація моделювання.

Графічне представлення обсягу (кількості) незавершеного виробництва в поточний момент часу (рис.1.26).

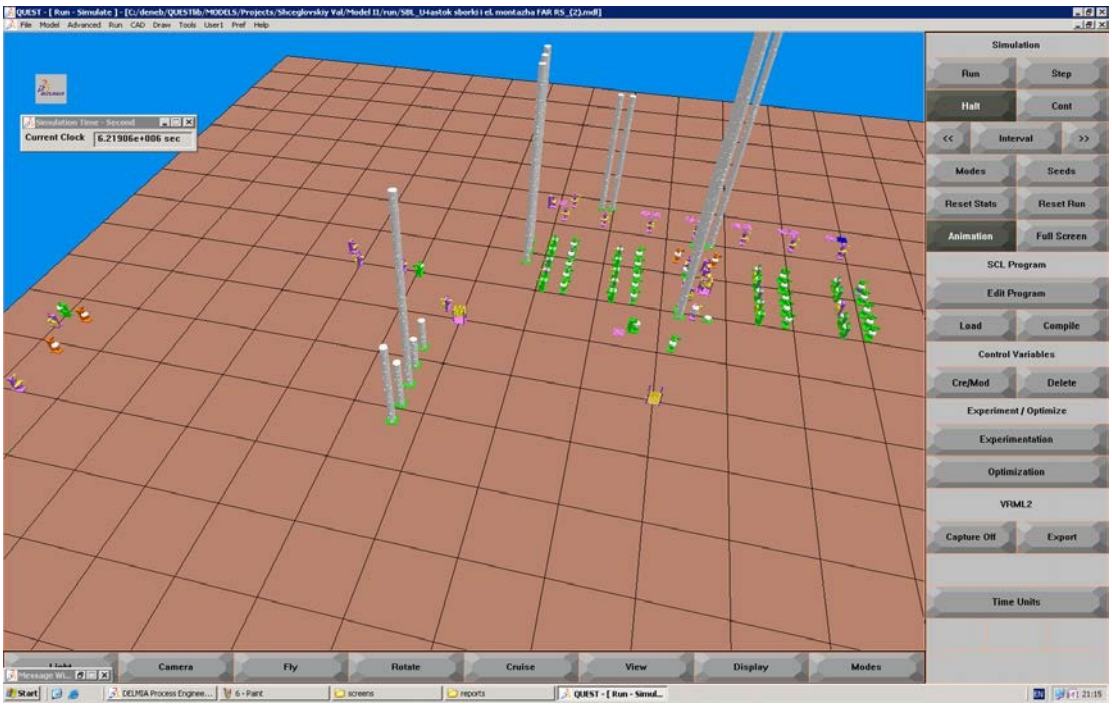


Рис. 1.26 Візуалізація моделювання

h). Аналіз результатів імітаційного моделювання.

¶

Статичні значення (Розрахунок фахівців заводу) Продуктивність цеху N= 44 шт / рік	Динамічні значення (Розрахунок шляхом моделювання) Продуктивність цеху N = 12 шт / рік

Розбіжність значень в 3,7 рази

і). Основні причини розбіжності знач ень продуктивності цеху.

Виробничий цикл виготовлення виробу прийнятий рівним технологічному циклу. Не враховуються втрати часу з виробничих причин. Не враховується критичний шлях виготовлення комплектуючих, що визначає виробничий цикл виробу.	Виробничий цикл виготовлення виробу визначається шляхом імітаційного моделювання. Враховуються взаємні впливи матеріальних потоків (збої в комплектації складальних операцій, виконання транспортних і складських операцій, організаційні простої транспортного та технологічного обладнання і ін.) Враховується критичний шлях виготовлення комплектуючих, що визначає виробничий цикл виробу.

j). Порівняння рішень за результатами моделювання рис.1.27 -1.28.

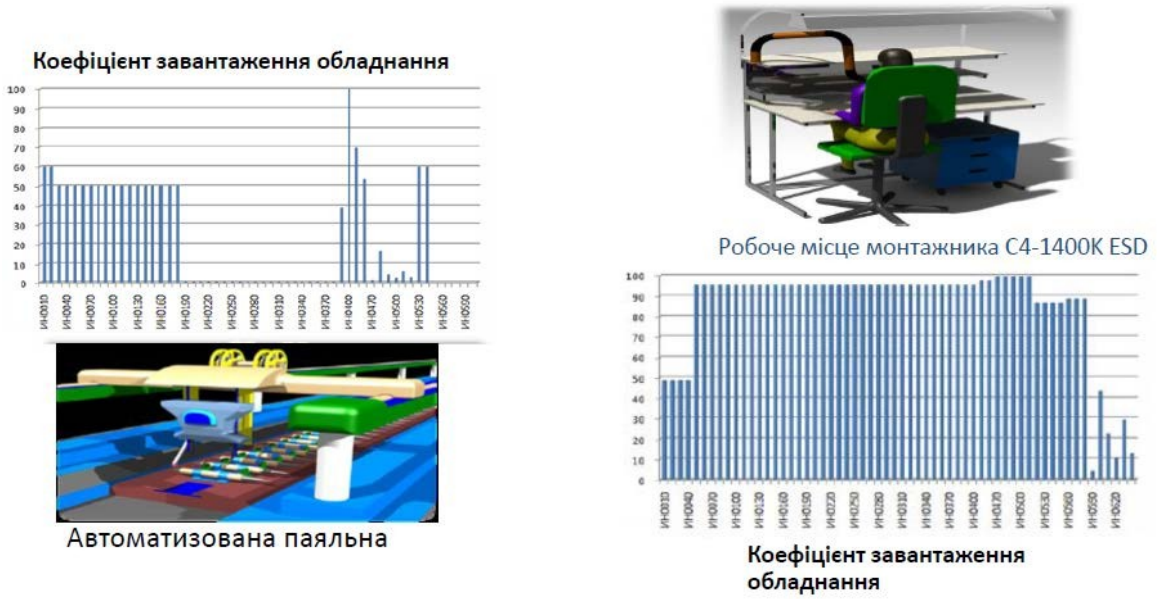


Рис.1. 27 Порівняння рішень за результатами моделювання

¶



Рис. 1.28 Планувальні рішення за розрахунками заводу та за результатами моделювання

k). Порівняння рішень за результатами моделювання:

- продуктивність збільшена на 313%;
- виробнича площа залишилася без змін;
- змінена специфікація технологічного обладнання (тип і моделі обладнання та їх кількість).

l). Оцінка економічної ефективності, порівняння варіантів виробництва на основі розрахунку показників собівартості продукції, продуктивності праці, ефективності капіталовкладень рис.1.29:

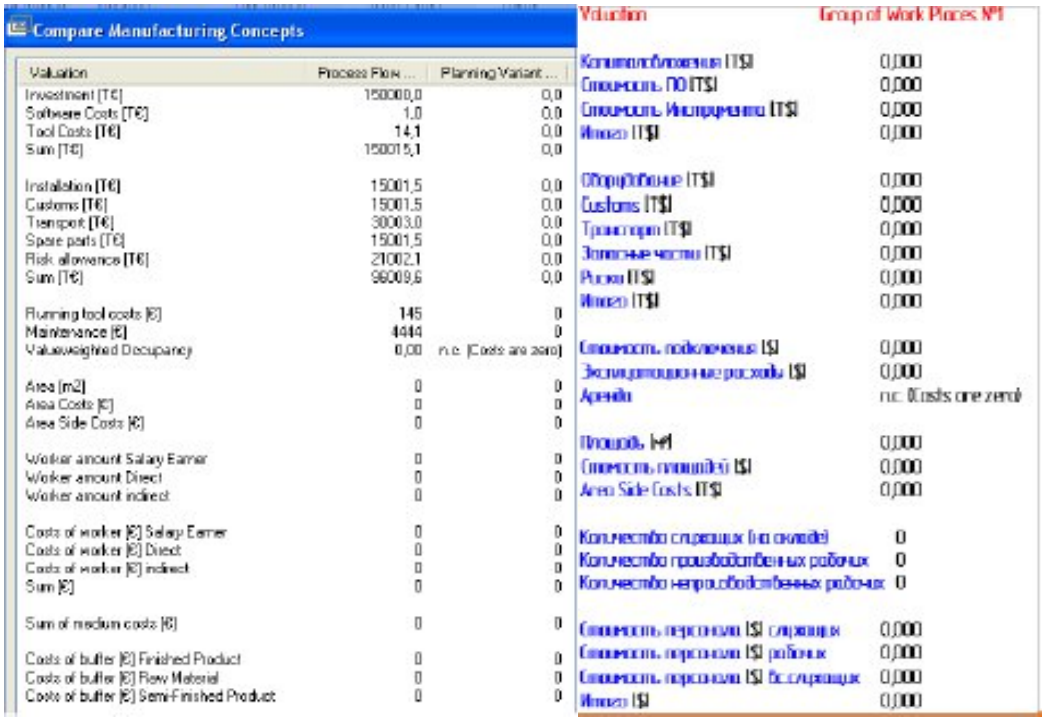


Рис. 1.29 Оцінка економічної ефективності

m). ¶Завантаження робочих місць ділянки.

Таблиця 1.3 Завантаження робочих місць ділянки

Name	State Times			Utilization (%)	Avg. Process Time	Parts Added	Parts Rejected	No. of Products
	Idle	Busy - Processing	Blocked - Wait Block					
U4astok_sborki_i_el__montazha_FAR_RS	4332.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0	0
Stellazh_kompl_one_LIN	4331.000	1.000	0.000	0.023	67.028	480	0	16920
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1	294.748	4037.252	0.000	93.196	9.562	1058	0	1192
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_2	894.607	3437.393	0.000	79.349	8.640	1335	0	1155
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_3	1158.963	3173.038	0.000	73.246	9.498	1207	0	1058
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_4	654.728	3677.272	0.000	84.886	9.626	1104	0	1131
Rab_mesto_mont_a_C4_1400_K4_N1_5	1401.861	2930.139	0.000	67.639	10.838	1034	0	951
Verstak_BC_2M_PuD_1_1__State_1_7_1_N2	824.778	40038.000	0.000	97.982	667.597	60	0	60

2. PLANT SIMULATION - СИМУЛЯТОР ПОБУДОВИ ОСНОВИ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Plant Simulation – програмне середовище імітаційного моделювання систем і процесів. Рішення призначене для оптимізації матеріалопотоків, завантаження ресурсів, логістики і методу управління для всіх рівнів планування від цілого виробництва і мережі виробництв до окремих ліній і ділянок.

Plant Simulation входить до складу продуктової лінійки Tecnomatixкомпанії Siemens PLM Software.

Історія продукту

Operation and Automation" розробляє об'єктно-орієнтовану, ієрархічну програму імітаційного моделювання для Apple Macintosh під назвою SIMPLE Mac for Apple Macintosh.

У 1990 році була заснована компанія AIS (нім. Angewande Informations Systeme), якою був створений продукт SIMPLE ++ (нім. Simulation in Produktion Logistik und Engineering – симуляція у виробничій логістиці та проектуванні).

У 1991 році компанія AIS отримала назву AESOP (Angewande EDV- Systeme zur optimierten Planung).

21 жовтня 1997 року AESOP була куплена компанією Tecnomatix Technologies Ltd.

У 2000 році продукт SIMPLE ++ був перейменований в eM-Plant в рамках корпоративного ребрендингу.

На початку 2005 року компанія TECNOMATIX була поглинена компанією UGS Corp. і отримала статус окремого підрозділу. Рік по тому продукт eM-Plant був перейменований і став називатися Tecnomatix Plant Simulation Tool.

У січні 2007 року компанія UGS була придбана концерном Siemens AG. С цього моменту поставки і підтримка рішень Tecnomatix здійснюються компанією Siemens PLM Software.

2.1. Короткий опис

Plant Simulation – це візуальне об'єктно-орієнтоване середовище для побудови імітаційних моделей широкого класу систем. Моделі будуються з наявної бібліотеки стандартних об'єктів, в якій є кілька основних розділів: Material Flow – об'єкти, призначені для обробки рухомих об'єктів.

Наприклад: Source (джерело деталей), SingleProc (одинична операція), Buffer (накопичувач), Line (конвеєр).

Movable Units – рухомі об'єкти: Entity (деталь), Container (тара), Transporter (самохідний транспорт)

Information Flow – об'єкти для інформаційного забезпечення моделі (змінні, таблиці, генератори подій, інтерфейси обміну даними, методи для обробки подій)

User Interface – об'єкти для представлення даних (графіки, діаграми)

Fluids – об'єкти для моделювання трубопроводів і потоків рідин.

Крім стандартних об'єктів доступні додаткові бібліотеки, що реалізують спеціальні об'єкти (крани, автоматизовані склади) або інструменти (нейронні мережі, генератор варіантів).

Всі об'єкти мають набір параметрів (наприклад, час операції) і поведінки. Можна будувати більш складні структури, об'єднуючи базові об'єкти і додаючи підпрограми (методи) обробки подій на мові SimTalk. Таким чином можна створювати призначені для користувача бібліотеки об'єктів і ієрархічні моделі. При моделюванні рухомі об'єкти (Movable Units) переміщаються по створеній структурі, генеруючи події в моменти часу, які визначаються параметрами об'єктів. Зокрема, при вході на об'єкт і виході з нього.

За результатами моделювання автоматично збирається статистика – продуктивність за проміжок часу, час використання обладнання, ступінь заповнення накопичувачів, будь-які інші показники. Крім звичайного, двовимірного, уявлення з анімацією на основі іконок, модель може мати тривимірне уявлення. Для створення тривимірного уявлення використовуються 3D-моделі в форматі JT.

2.2. Особливості продукту

Вбудована об'єктно-орієнтована мова програмування SimTalk; Ієрархічна структура моделі з необмеженою глибиною вкладеності; Можливість використання в симуляції статистичних параметрів відмов;

Набір аналітичних інструментів: аналізатор вузьких місць, діаграма Гантта, діаграма Сенкі і ін.;

Вбудовані універсальні інструменти оптимізації;

Автоматичне формування і проведення наборів експериментів; Оптимізація на основі генетичних алгоритмів;

Можливість розподілу обчислень на кілька комп'ютерів;

Інтерфейси для обміну даними (ODBC, SQL, Excel, XML, ActiveX, OPC та ін.).

2.3. Використання

Plant Simulation використовується в багатьох галузях промисловості. Наприклад, в автомобілебудуванні, машинобудуванні, авіаційно-космічної промисловості, обробної промисловості, електронної промисловості, виробництві товарів народного споживання, логістиці, на транспорті, в суднобудуванні та інших галузях. Plant Simulation також використовується в дослідницьких цілях навчальними закладами і науковими організаціями.

На сайті доступна безкоштовна студентська версія програми: https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/plant-simulation/ en_us/free-software/student/?

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ПРОЄКТУ В СИСТЕМІ TECNOMATIX PLANT SIMULATION

3.1. Моделювання виробничої лінії

Розглянемо методику моделювання виробничої лінії у середовищі *«Tecnomatix Plant Simulation»* на прикладі обробки деталей на трьох верстатах. Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою кнопки *«Create New Model»* (рис. 2.1). В наступному діалоговому вікні (рис. 2.2) необхідно обрати вид моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

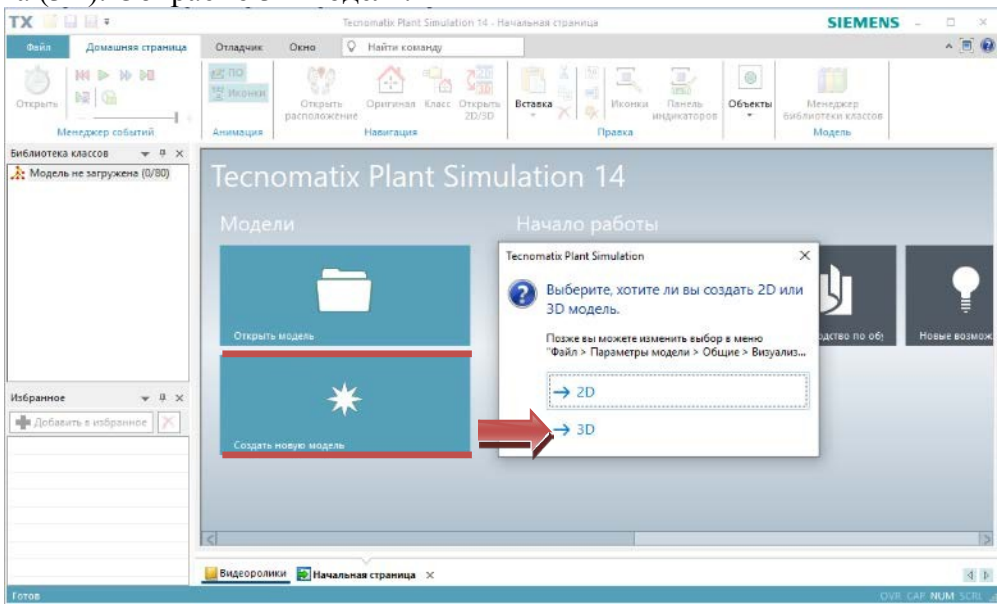


Рис. 3.1. Створення нової моделі

Підготовка імітаційної моделі

При проектуванні зручно використовувати режим планування, для цього необхідно обрати вкладнику *«Вид»* → *«Вид в плані»* (рис. 3.2).

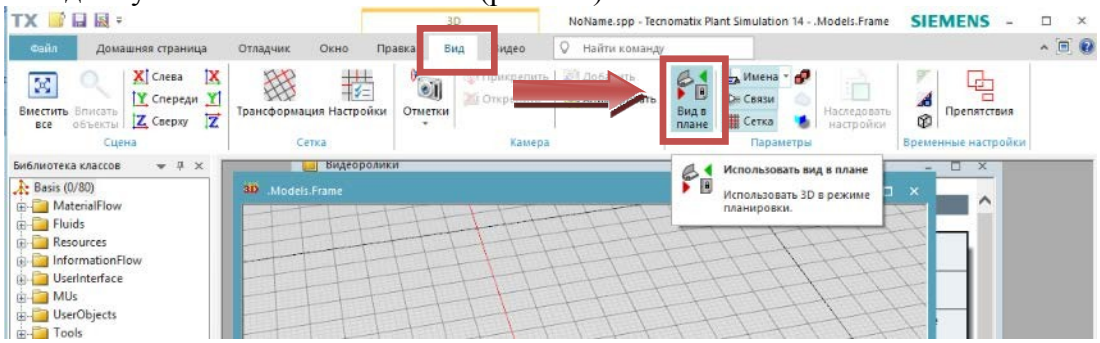


Рис. 3.2. Вибір режиму планування

Першим об’єктом, який створюється в імітаційній моделі є *«Source»* – джерело постачання деталей, які надалі будуть переміщуватись у виробничій системі. «*Source»* може, наприклад, являти собою верстати, що оброблюють деталі, або приймальний відділ підприємства. Для розміщення об’єктів використовуємо Панель об’єктів (*Toolbox*) рис.3.3.

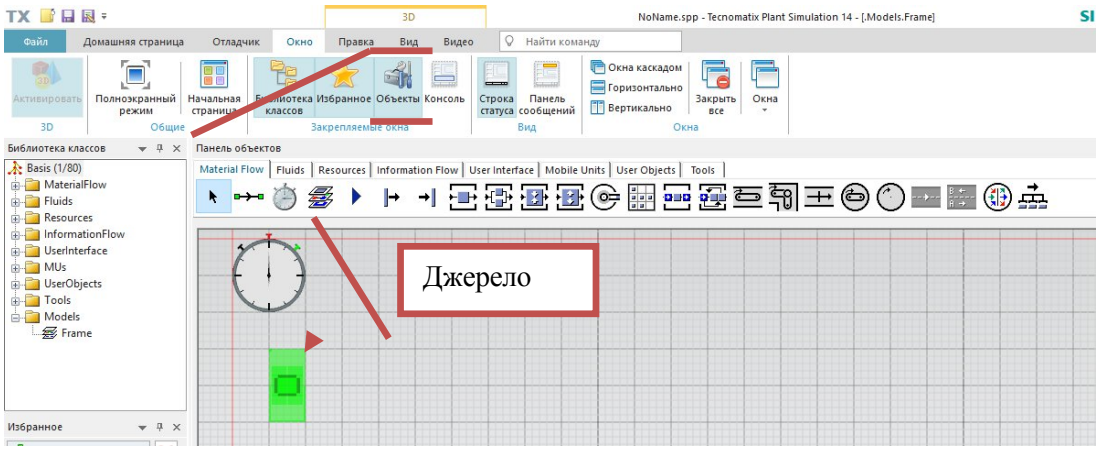


Рис. 3.3 Розміщення об’єкта «Source»

Тепер необхідно розмістити моделі трьох верстатів. Для цього в панелі інструментів обираємо «*SingleProc*» (рис. 3.4). «*SingleProc*» – це узагальнений об'єкт, який представляє будь-яку станцію або верстат, на яких витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

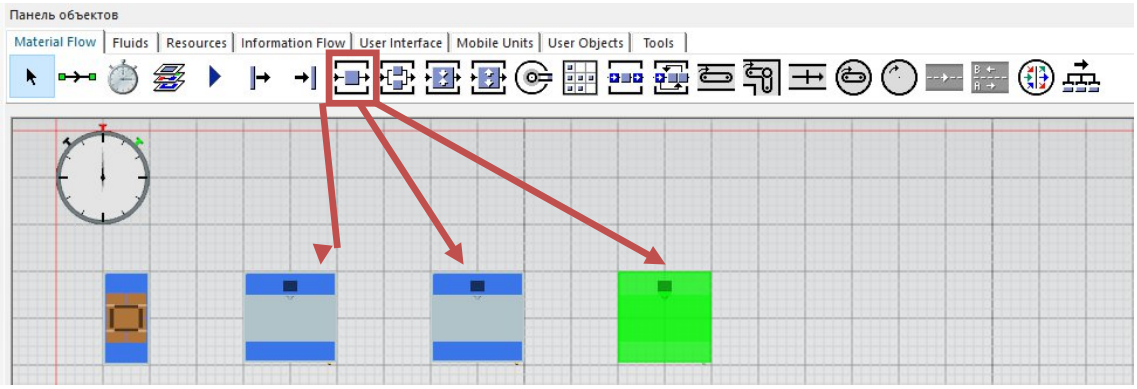


Рис. 3.4 Розміщення об’єктів «SingleProc»

Останній необхідний нам об'єкт – це «*Drain*». «*Drain*» видаляє деталі з виробничої системи. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, дільниця відвантаження.

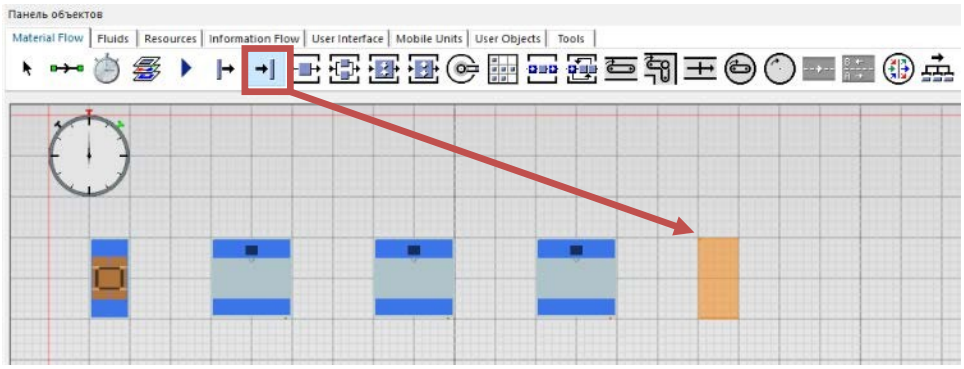


Рис. 3.5 Розміщення об’єкта «Drain»

Розміщені об’єкти необхідно з’єднати за допомогою елемента «*Connector*» (рис. 3.6). Елементи типу «*Connector*» визначають переміщення деталей між станціями виробничої системи, тобто визначають потік матеріалів.

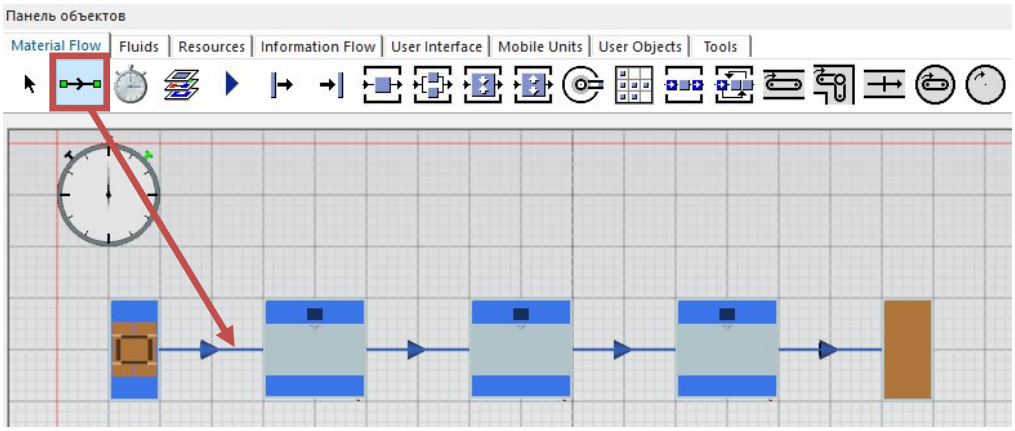


Рис. 3.6 Поєднання об'єктів за допомогою елемента «Connector»

3.2. Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу з анімацією тривимірної моделі переходимо в 3D режим, для цього на вкладці «Вид» натискаємо кнопку «Вид в плані» (рис.3.7). Управління симуляцією відбувається на вкладинці «*Event Controller*». Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку «*Reset Simulation*», а потім кнопку «*Start/Stop Simulation*». Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки «*Start/Stop Simulation*».

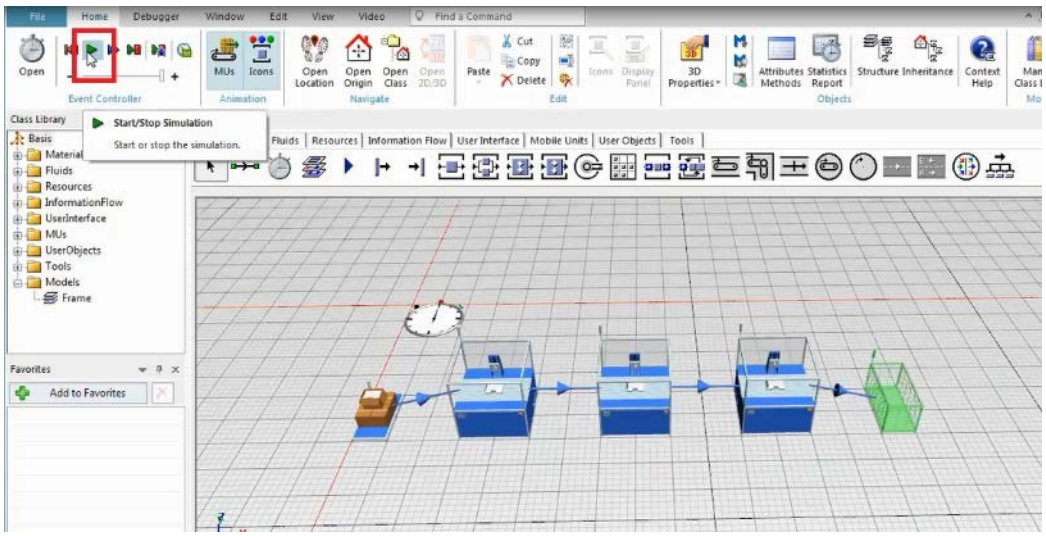


Рис. 3.7 Імітація виробничого процесу

3.3. Аналіз результатів імітації і корекція моделі

Для ознайомлення з результатами імітації виробничого процесу двічі натискаємо на об'єкт «*Drain*» (Рис. 3.8).

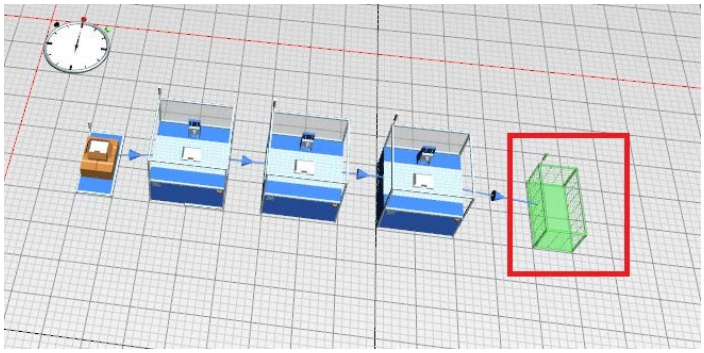


Рис. 3.8 Імітаційна модель

У вікні, що відкриється, обираємо вкладку «*Type Statistics*». На цій вкладці представлені статистичні дані, наприклад: середня тривалість життєвого циклу виробів, загальну пропускну здатність, пропускну здатність за хвилину/годину/день, тощо (рис. 3.9).

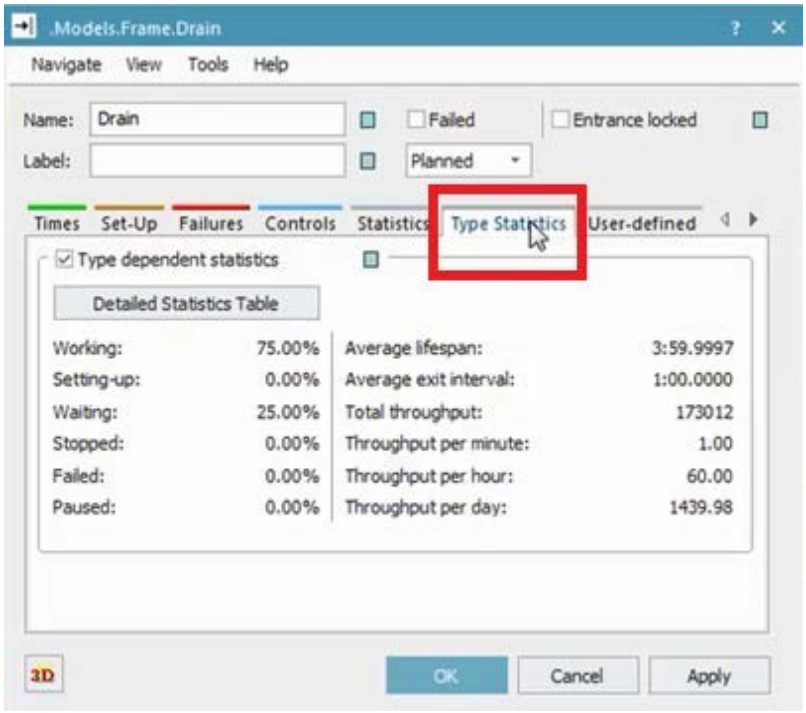


Рис. 3.9 Статистичні дані імітаційного моделювання

Результати моделювання можуть бути представлені і в графічному виді за допомогою діаграм. В панелі інструментів обираємо вкладку «*User Interface*», в ній об'єкт «*Chart*» і розміщуємо його в довільному місці (Рис. 3.10). Для того, щоб відобразити статистику ресурсів трьох верстатів на діаграмі, затискаємо *Ctrl* і послідовно обираємо об'єкти «*SingleProc»,* перетягуємо обрані об'єкти на об'єкт «*Chart*» (Рис. 3.11).

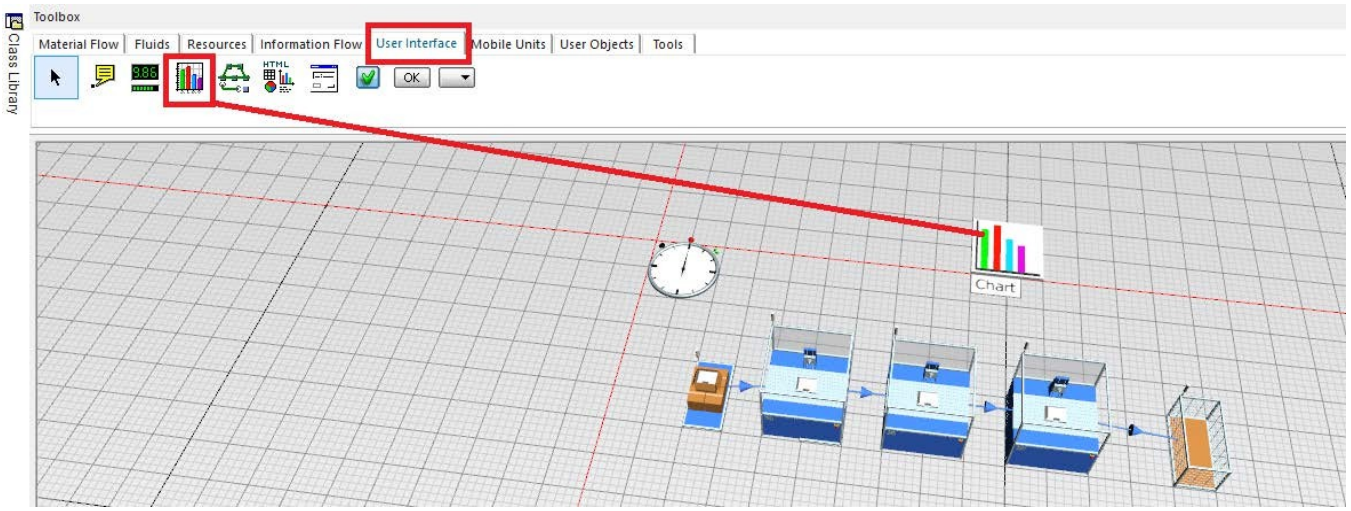


Рис. 3.10 Розміщення об'єкта «Chart»

¶

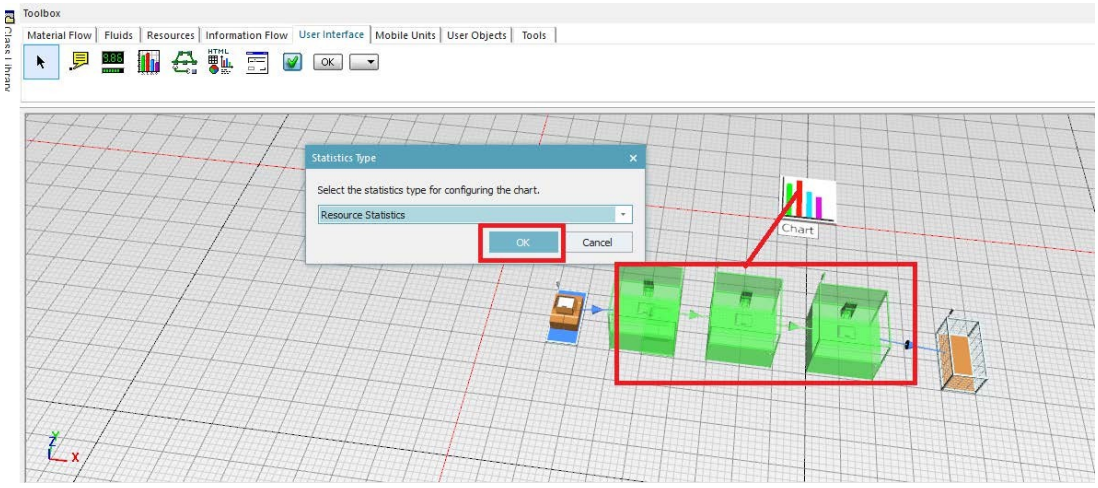


Рис. 3.11 Вибір об'єктів для відображення статистичних даних

Оскільки ніяких налаштувань моделей верстатів ще не встановлено, діаграма демонструє робочий час 100% (Рис. 3.12).

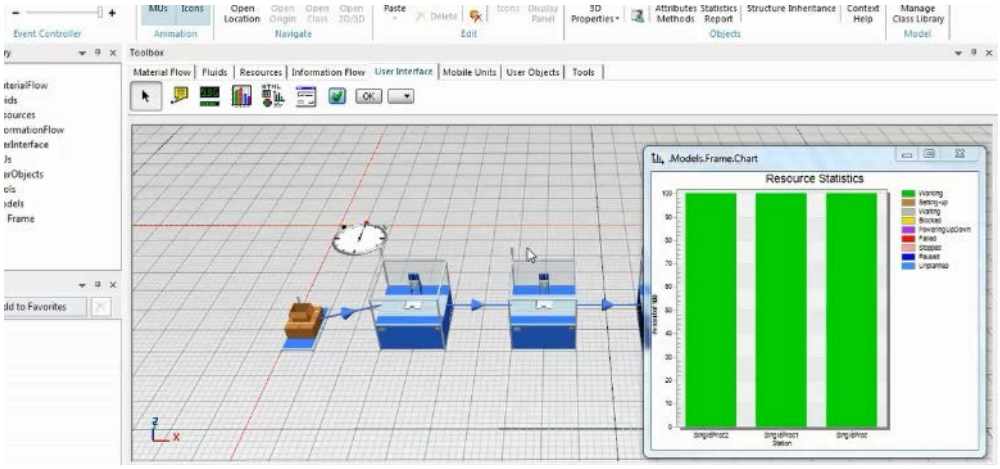


Рис. 3.12 Діаграма роботи верстатів

В реальності верстати можуть в процесі роботи виходити з ладу. Змінити налаштування доступності обладнання можна або для кожного об'єкта окремо, або для всіх об'єктів одного класу одночасно. В другому випадку необхідно в панелі інструментів «*ToolBox*» двічі натиснути на іконку об'єкту. У вікні налаштувань на вкладці «*Failure*» тиснемо кнопку «*New*» і змінюємо значення доступності верстатів на 90% рис.3.13.

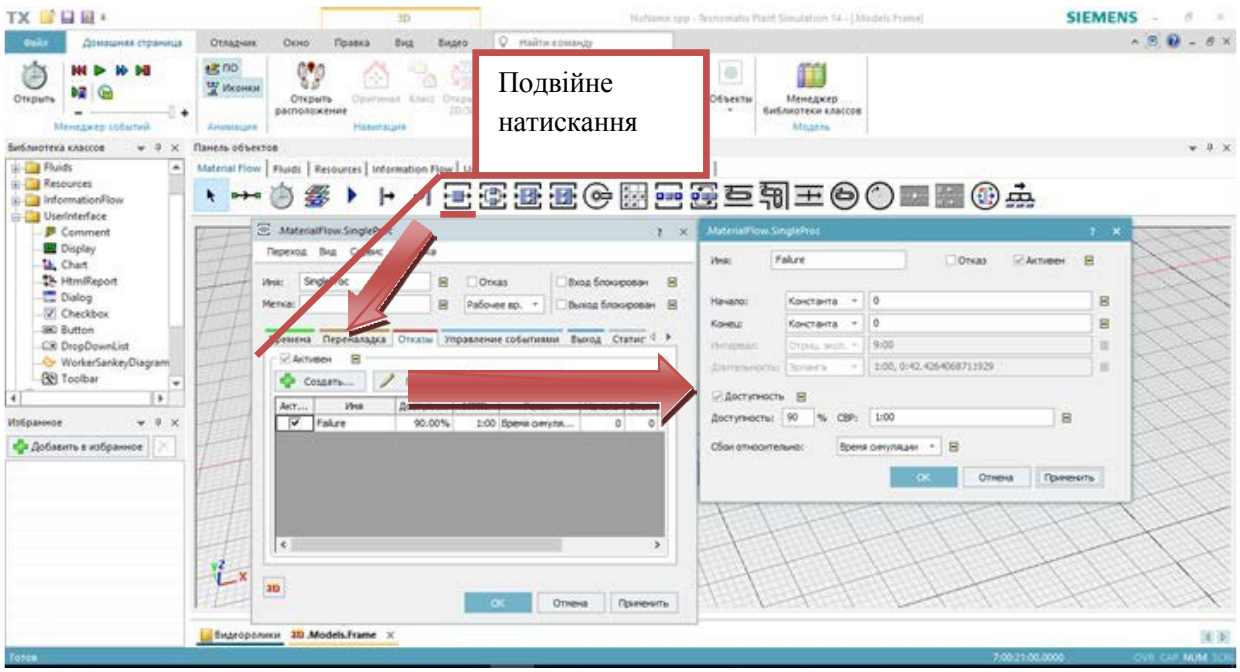


Рис. 3.13 Додавання імітації відмов у модель обладнання

В результаті повторного моделювання із зміненими параметрами («*Reset Simulation*» → «*Start/Stop Simulation*» → «*Start/Stop Simulation*») отримуємо більш реалістичну картину роботи обладнання, в якій присутні: відмови, простої і блокування (рис. 3.14).

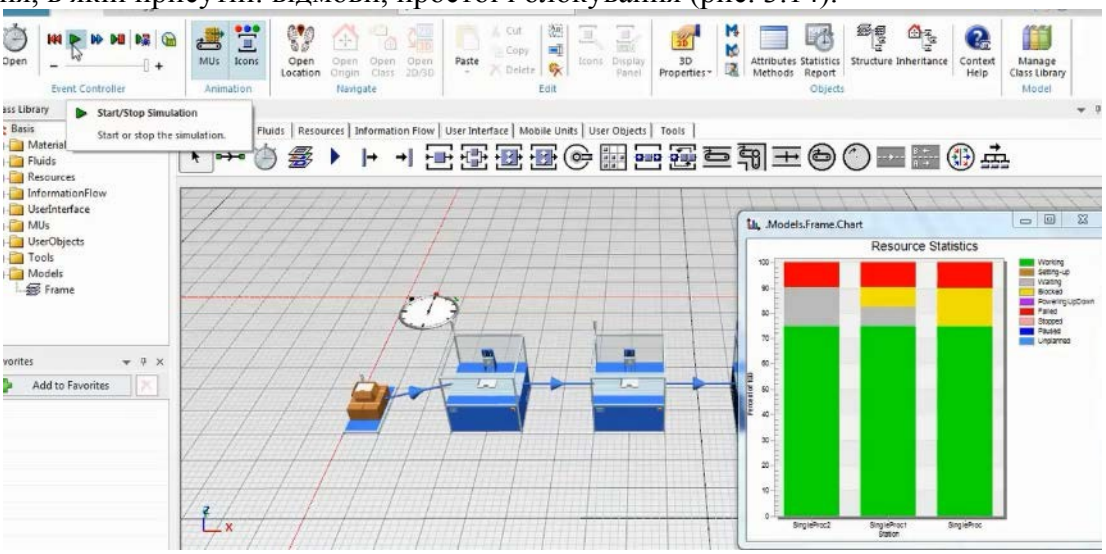


Рис. 3.14 Статистика завантаження обладнання після корекції моделей

Статистика випуску продукції також змінилась. Для її аналізу двічі натискаємо на об’єкт «*Drain*» у створеній моделі виробничої системи. Спостерігаємо відповідне зменшення пропускної здатності та інших характеристик роботи системи (Рис. 3.15).

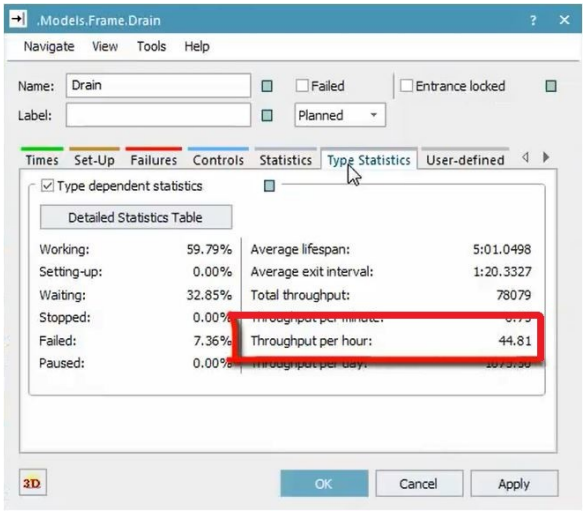


Рис. 3.15 Результати моделювання

3.4. Створення власного класу об'єктів

Для моделювання виробничої дільниці необхідно запустити програмний додаток *«Tecnomatix Plant Simulation»*. Щоб створити нову модель, натисніть кнопку *«Create New Model»*. Для виконання даної лабораторної роботи оберіть 3D-модель.
У бібліотеці класів натисність правою кнопкою миші на *«SingleProc»*, а потім оберіть *«Duplicate»* (рис. 3.16).

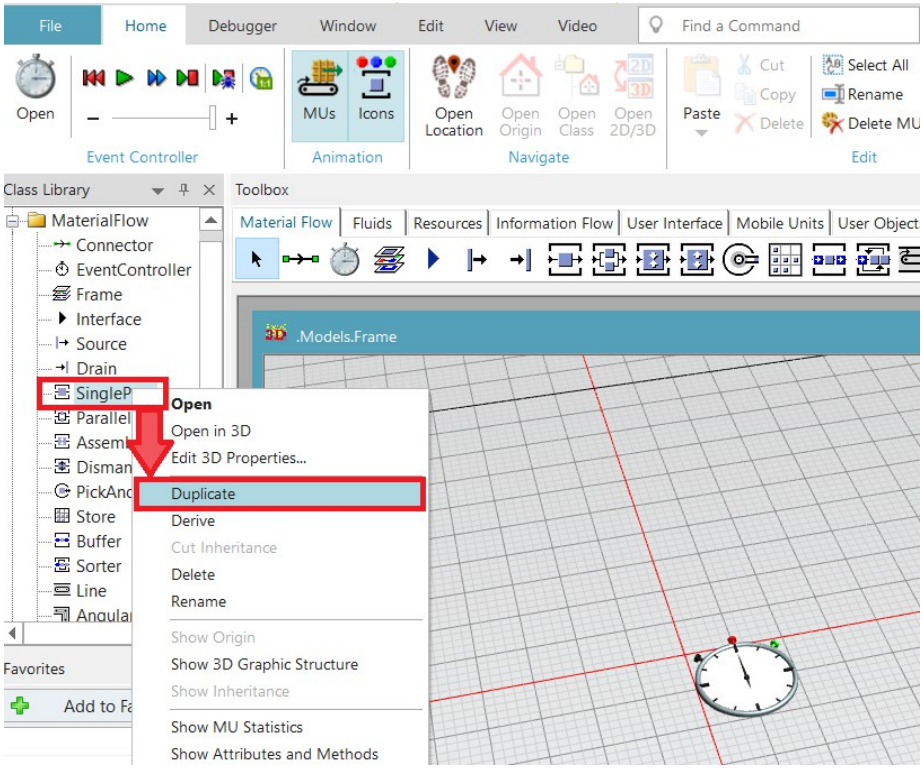


Рис. 3.16 Створення власного класу об'єкту «SingleProc»

Змініть назву створеного класу об'єктів. Для цього натисніть правою кнопкою миші на новостворений клас об'єктів та оберіть *«Rename»*. Введіть нову назву класу – *«MyStation»* (рис. 3.20).

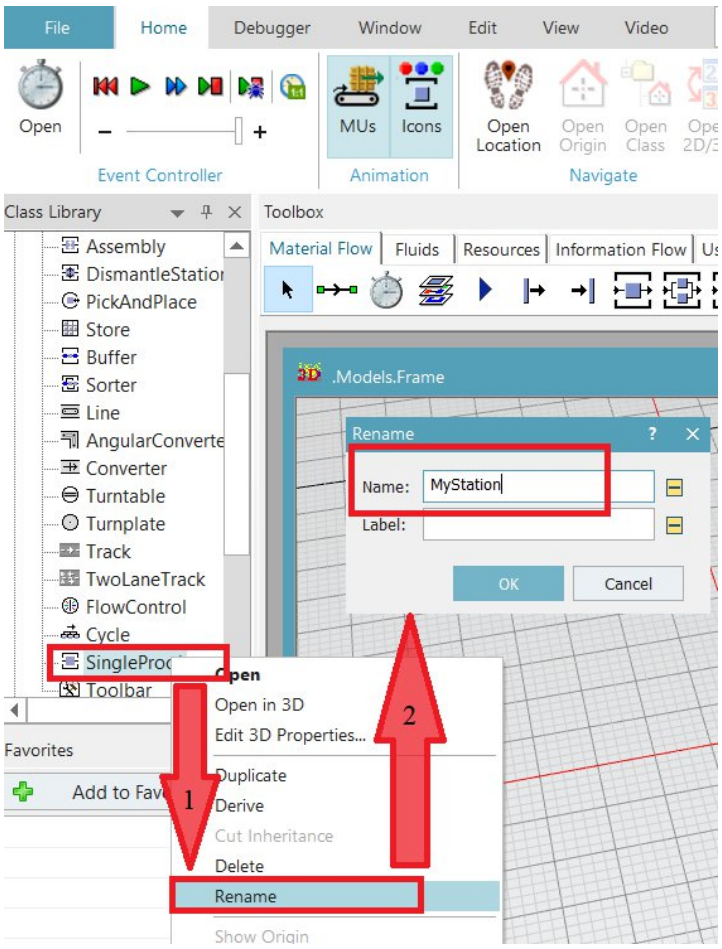


Рис. 3.20 Перейменування класу об'єктів

Додайте новоутворений клас до панелі *«MaterialFlow»* шляхом перетягування (рис. 3.21).

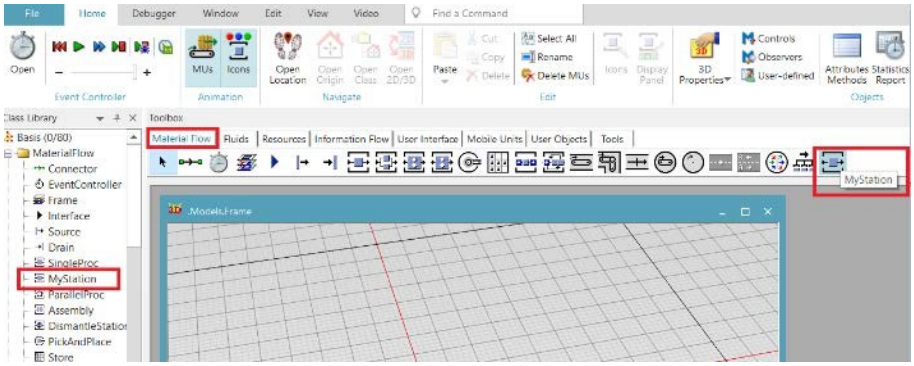


Рис. 3.21 Додавання нового класу до панелі «MaterialFlow»

У вкладці *«View»* на панелі інструментів оберіть *«Planning View»*. Це полегшить роботу по розташуванню об'єктів у правильному положенні.

У робочу зону необхідно помістити наступні об'єкти (рис. 3.22):

1. *Source.*
2. *MyStation.*
3. ¶*MyStation1.*

4. *Drain.*

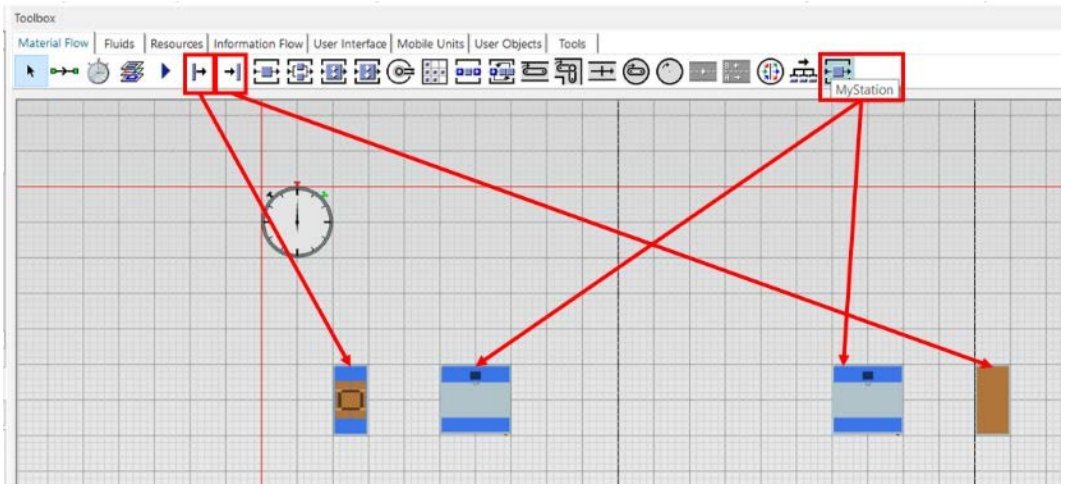


Рис. 3.22 Розміщення необхідних об'єктів у робочій зоні

Об'єкти з'єднуємо між собою з допомогою елементу *«Connector»* (рис.3.23).

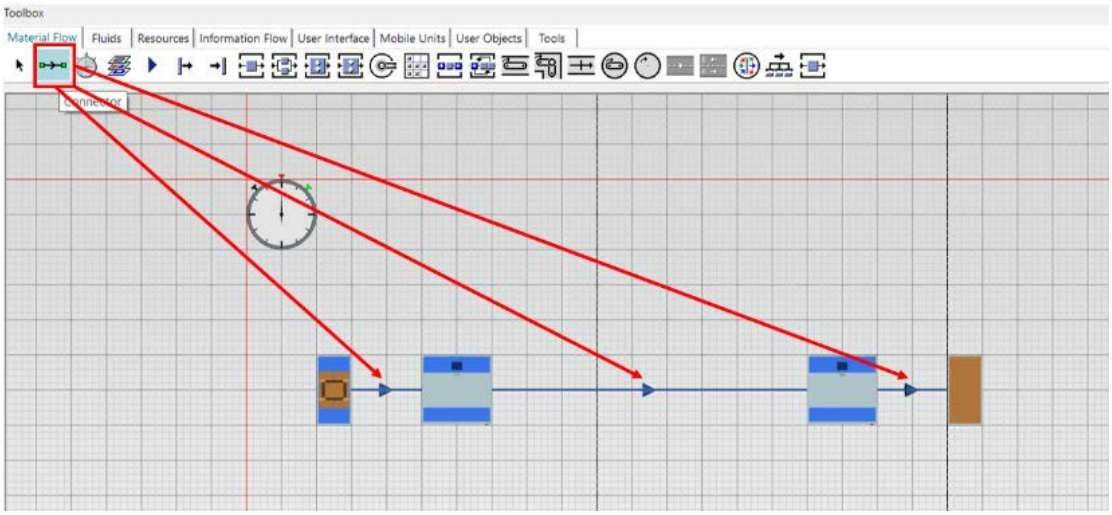


Рис. 3.23 З'єднання об'єктів з допомогою елемента «Connector»

Результати моделювання у графічному вигляді можна відобразити за допомогою діаграми. Для цього у вкладці *«Userlnterface»* оберіть *«Chart»*. Виділіть *«MyStation»* та *«MyStation1»* та перетягніть їх на діаграму (рис. 3.24).

¶

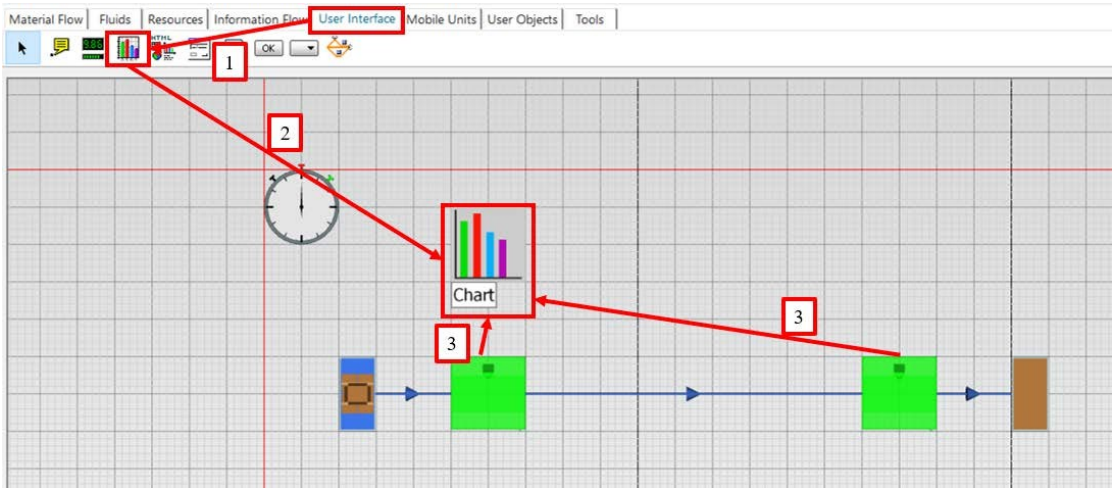


Рис. 3.24 Розміщення діаграми в робочій зоні

У діалоговому вікні, що з'явилося, потрібно натиснути «ОК» (рис. 3.25).

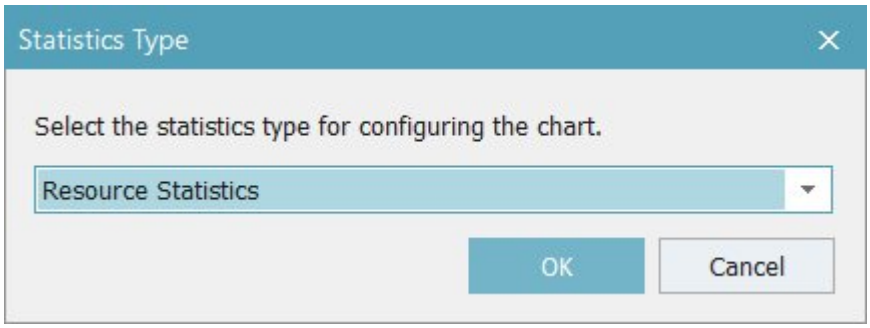


Рис. 3.25 Діалогове вікно після перетягнування об'єктів на діаграму

Вимкніть режим *«Planning View»* та запустіть симуляцію.

Як видно з діаграм, станції працюють увесь час, що неможливо (рис. 2.8). Відбувається це через те, що властивість станцій «Доступність» становить 100% на рис 3.26.

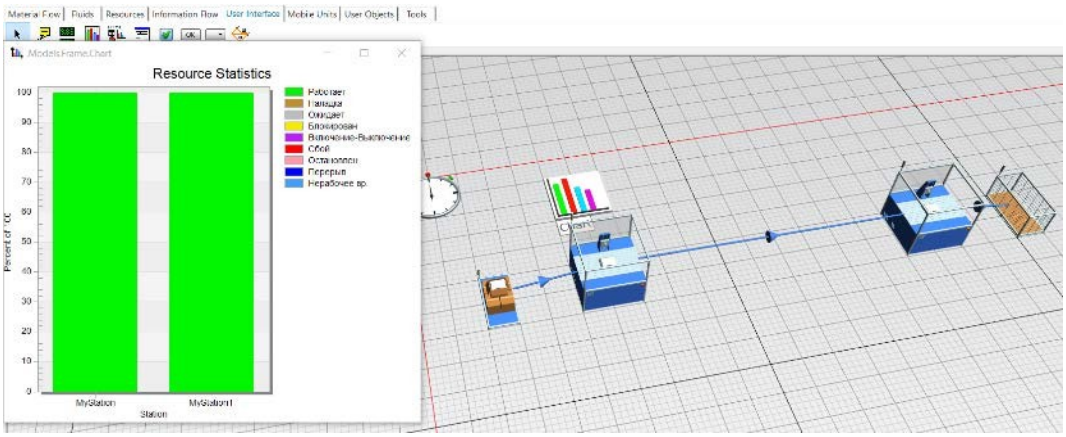


Рис. 3.26 Результати моделювання

Необхідно змінити доступність нашого об'єкту. Для цього треба двічі клацнути *«MyStation»* на панелі *«MaterialFlow»*. Далі оберіть вкладку

¶*«Failures»*, натисніть *«New»* та змініть значення доступності на 80%. Після цього натисніть «ОК» (рис. 3.27).

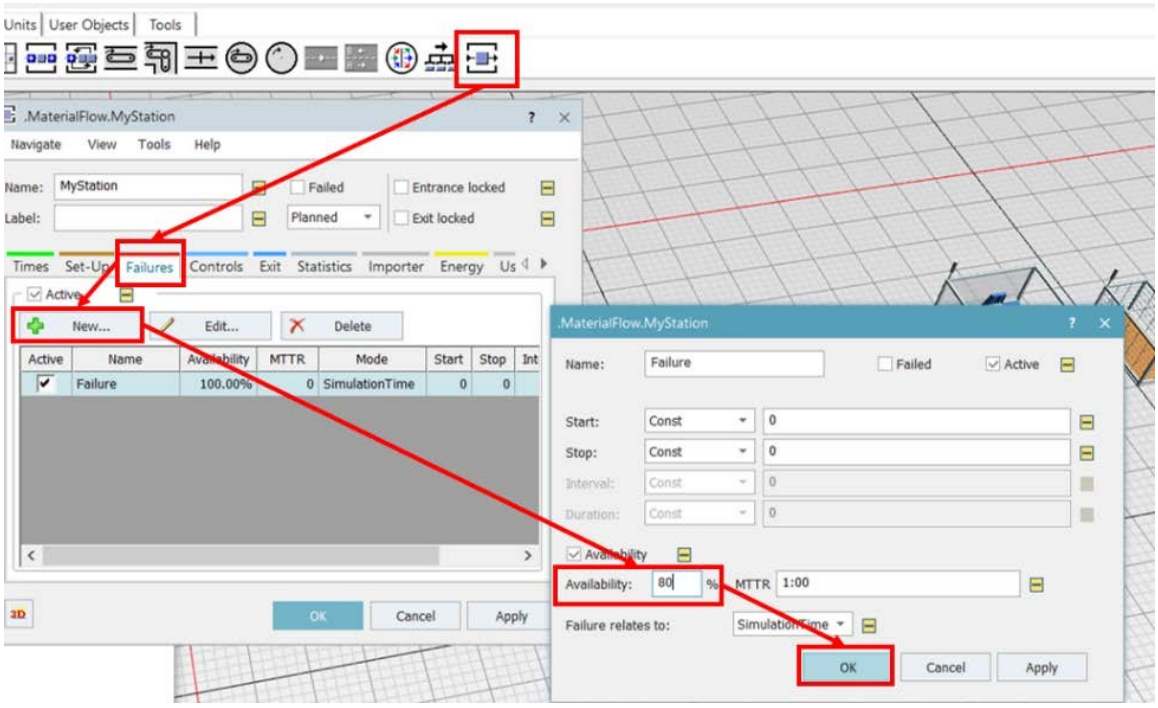


Рис. 3.27 Зміна властивості «Availability» об'єкту

Після цього властивості об'єктів *«MyStation»* та *«MyStation1»* автоматично змінилися.
Діаграма також змінюється (рис. 3.28).

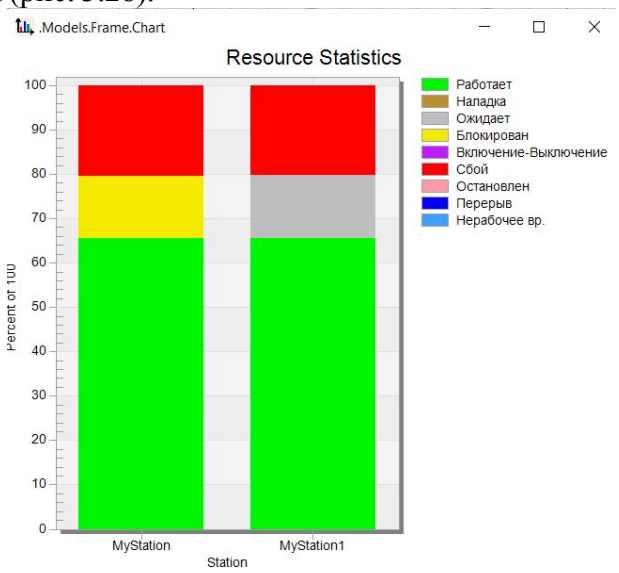


Рис. 3.28 Результуючі діаграми після зміни властивостей класу об'єктів

Результати все одно лишилися неуспішними, оскільки станції тривалий час або заблоковані, або перебувають в режимі очікування.
¶Двічі клацніть на об'єкт *«Drain»*, щоб відкрити діалогове вікно з властивостями цього об'єкту. У вкладці *«Type Statistics»* ввидно, що пропускна здатність становить 40 деталей на годину (рис. 3.29).

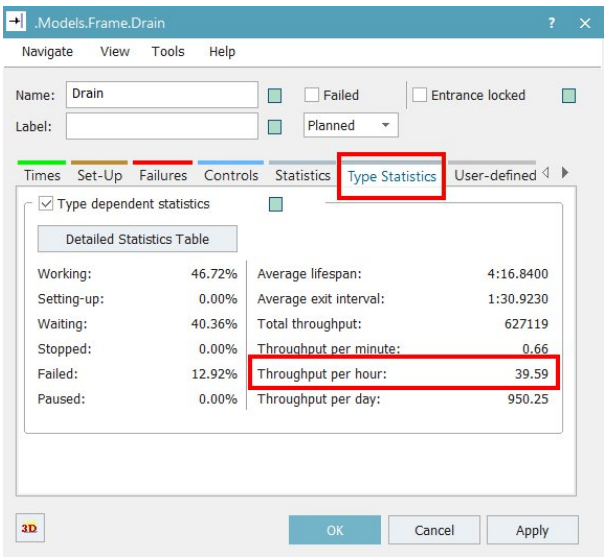


Рис. 3.29 Властивості об'єкту «Drain»

Для збільшення пропускної здатності об'єкту *«Drain»* між об'єктами *«MyStation»* та *«MyStation1»* необхідно вставити елемент *«Buffer»* (рис. 2.12).

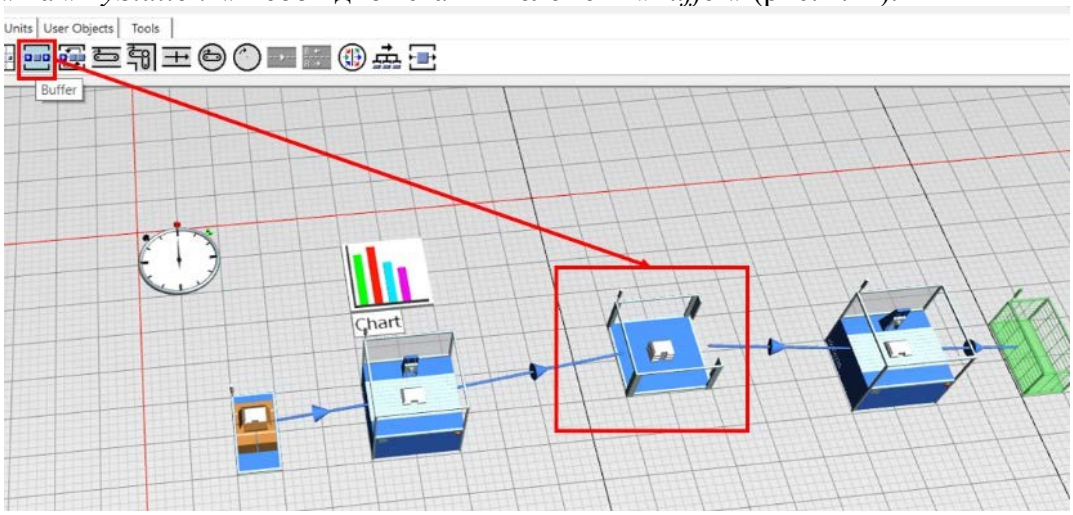


Рис. 3.30 Розміщення об'єкту «Buffer»

Об'єкт *«Buffer»* буде виконувати роль тимчасового складу між об'єктами *«MyStation»* та *«MyStation1»*.

Для зміни об'єму деталей, що можуть зберігатися на такому складі, потрібно двічі клацнути на об'єкт *«Buffer»* та змінити значення *«Capacity»* (рис. 3. 31). Встановіть значення, наприклад, «10».

¶

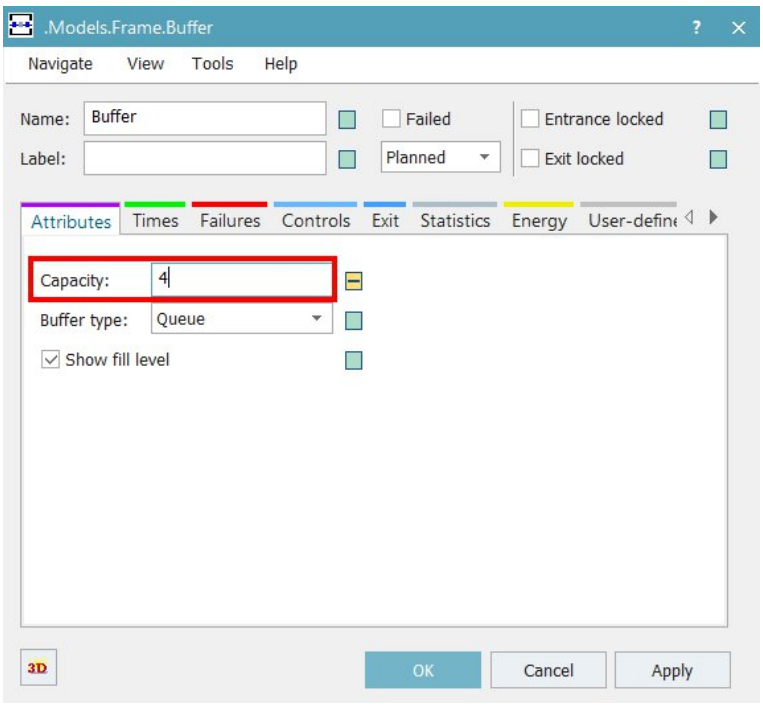


Рис. 3. 31 Редагування властивостей об'єкту «Buffer»

Як і у випадку зі станціями, створюємо діаграму, яка буде відображати результати роботи об'єкту *«Buffer»*.

При перетягуванні елементу *«Buffer»* на діаграму, з'являється діалогове вікно (рис. 3.32). Натисніть «ОК».

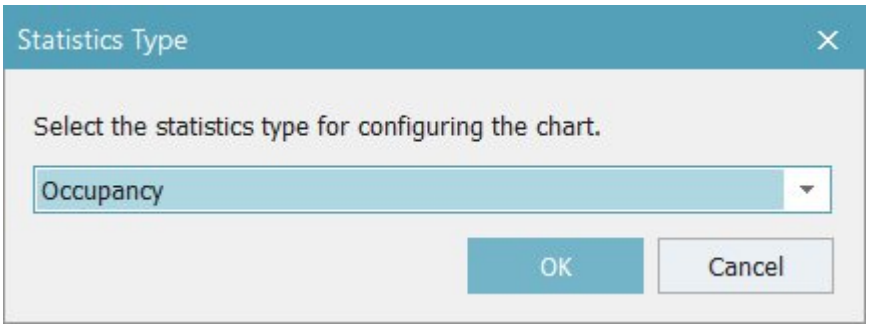


Рис. 3.32 Діалогове вікно, що з'являється після перетягування об'єкту «Buffer» на діграму

Запустіть моделювання спочатку та подивіться на результат. Додавання об'єкту *«Buffer»* збільшує пропускну здатність до 47 деталей на годину (рис.3.33).

¶

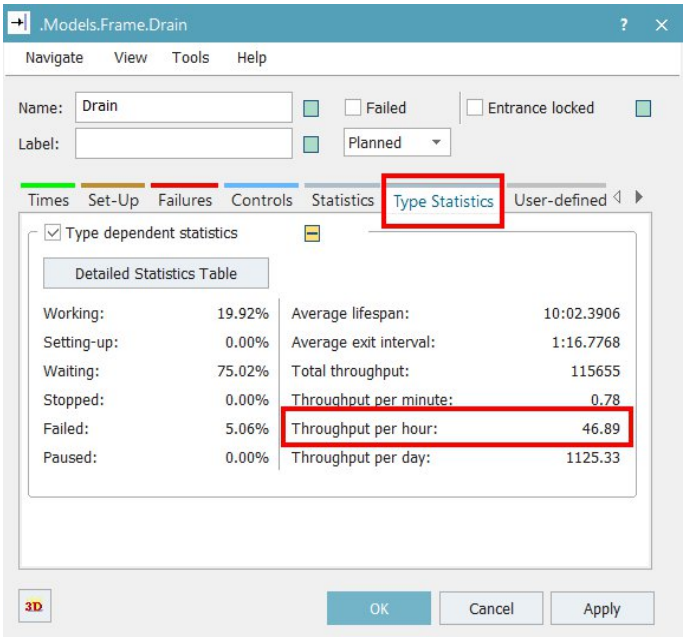


Рис. 3.34 Збільшення пропускної здатності об'єкту «Drain»

З діаграм можна помітити, що час очікування та час блокування станцій знизилися (рис. 3.35).

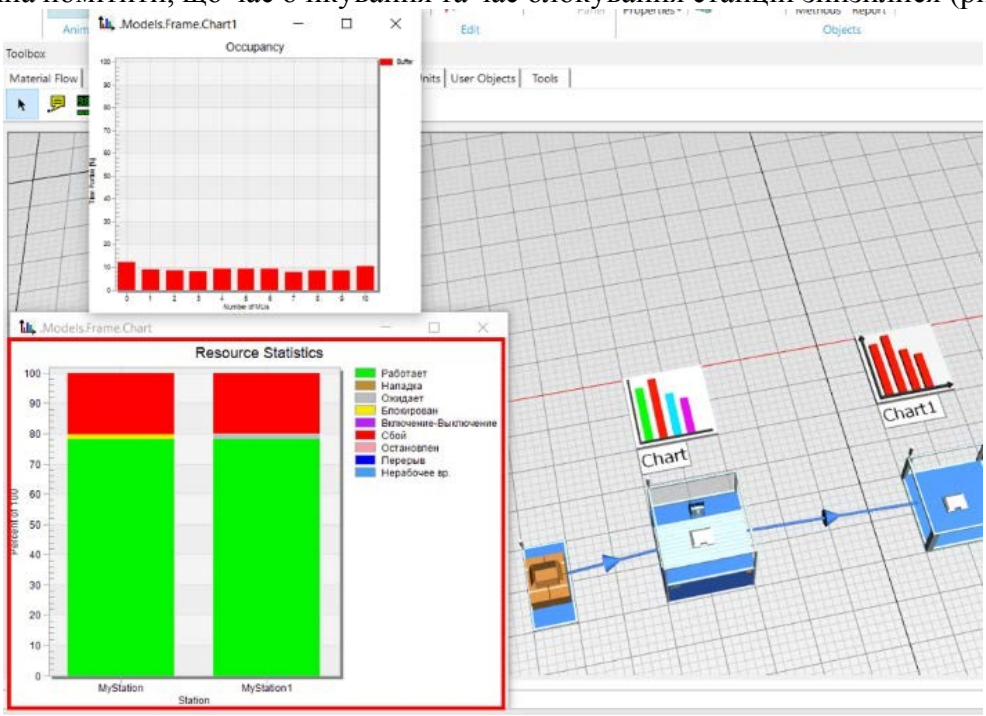


Рис. 3.35 Результати діаграм після кінцевого моделювання

3.5. Методи розподілу завантаження між верстатами

Стратегія «*Exit*» необхідна для того, щоб розподіляти деталі для оброблення між верстатами в межах виробничої дільниці.

Для моделювання виробничої дільниці необхідно запустити програмний додаток *«Tecnomatix Plant Simulation»*. Щоб створити нову модель, натисніть кнопку *«Create New Model»*. Для виконання даної лабораторної роботи оберіть 3D-модель.

У робочій зоні необхідно розмістити наступні об'єкти (рис. 3.36):

1. *Source.*
2. *SingleProc.*
3. *Drain*

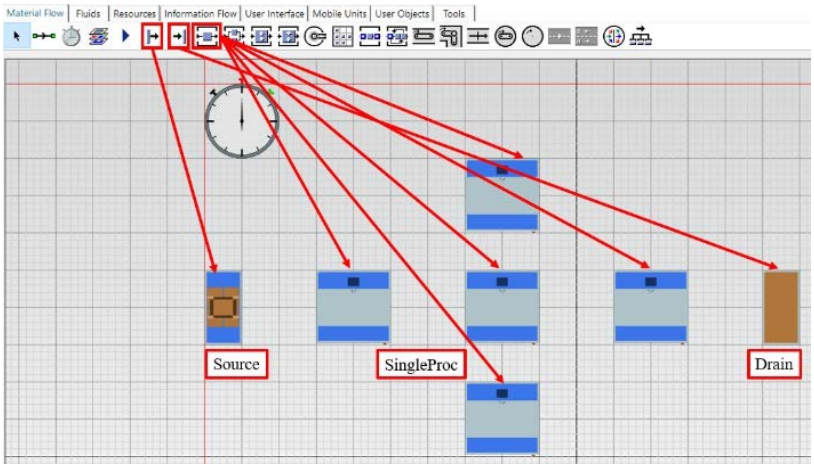


Рис. 3.36 Розміщення необхідних об'єктів у робочій зоні

Всі об'єкти з'єднуємо між собою за допомогою елемента *«Connector»*. У результаті, отримуємо змодельовану виробничу дільницю (рис. 3.37).

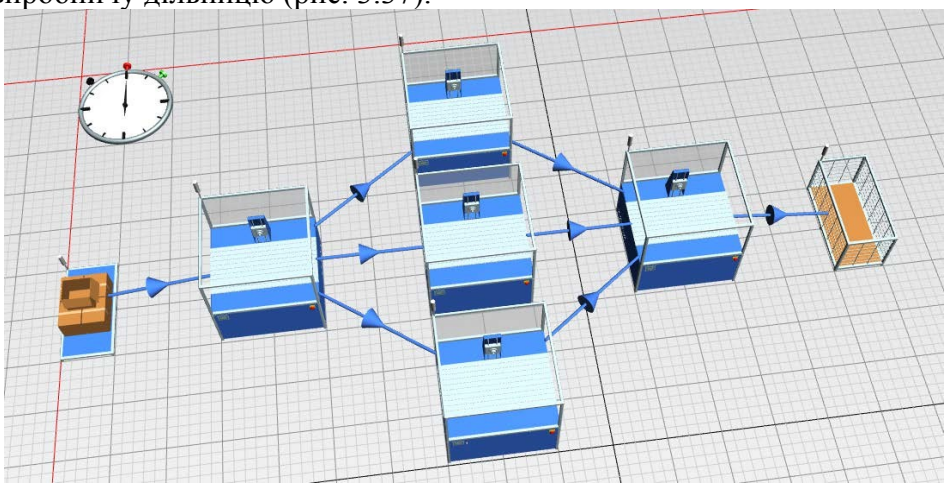


Рис. 3.37 Змодельована виробнича дільниця

Видно, що три об'єкти *«SingleProc»*, розташовані паралельно.
Для кращої наочності результатів збільшіть час оброблення однієї деталі на верстаті *«SingleProc1»*. Двічі натисніть лівою кнопкою миші по необхідному об'єкту, у вкладці «*Time*» встановіть час оброблення 4 хвилини (рис. 3.38).

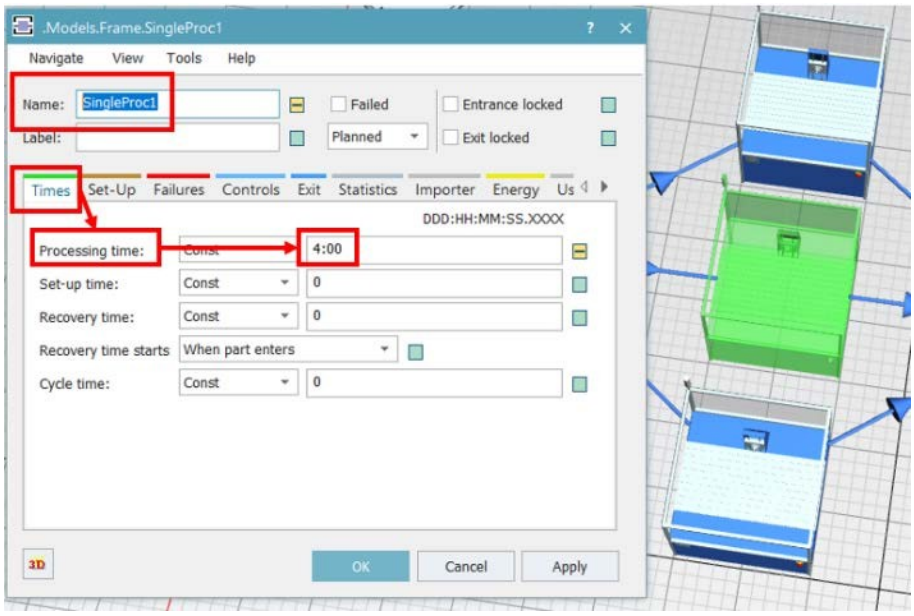


Рис. 3.39 Встановлення часу оброблення однієї деталі на верстаті

При паралельному розташуванні об'єктів завантаження на такі об'єкти розподіляється. Розподіл завантаження можна змінювати через редагування властивостей верстата *«SingleProc»*, який пов'язаний з об'єктами через елементи *«Connector»*. Для цього двічі натисніть лівою кнопкою миші на верстат, від якого йде розгалуження. У вкладці «*Exit»* оберіть стратегію «*Percentage»* (рис. 3.40). Застосуйте дані властивості.

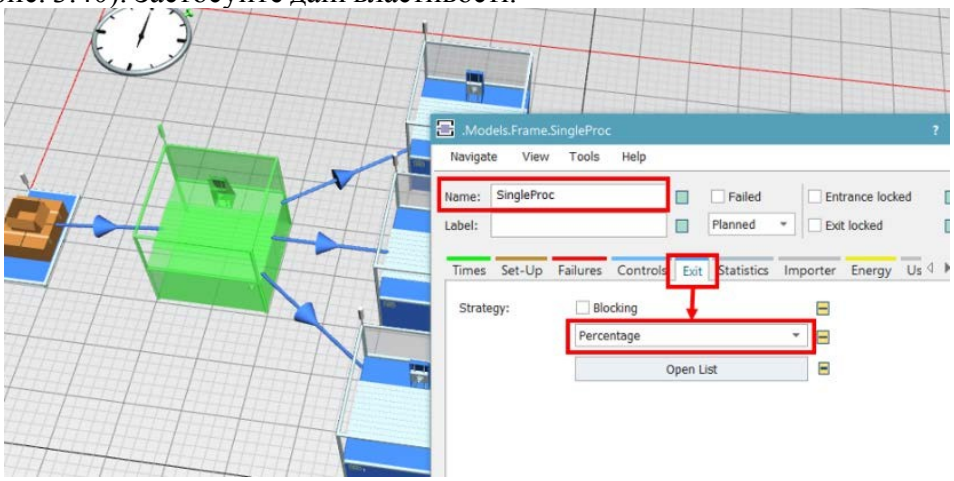


Рис. 3.40 Вибір стратегії Percentage для першого верстата

Після цього натисніть «*Open List»* для розподілення навантаження між об'єктами (рис. 3.41).

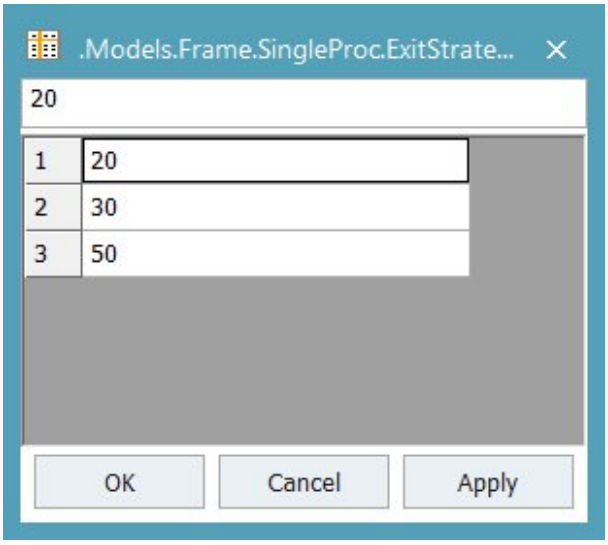


Рис. 3.41 Розподіл завантаження між об'єктами

Такий розподіл означає, що бажане завантаження наступне: 20% всіх деталей буде оброблятися на першому верстаті, 30% на другому та 50% на третьому.
Для реалізації розподілу деталей незалежно від того, які верстати вже готові приймати нову деталь для оброблення, навпроти функції «*Blocking*» потрібно поставити галочку (рис. 3.42).

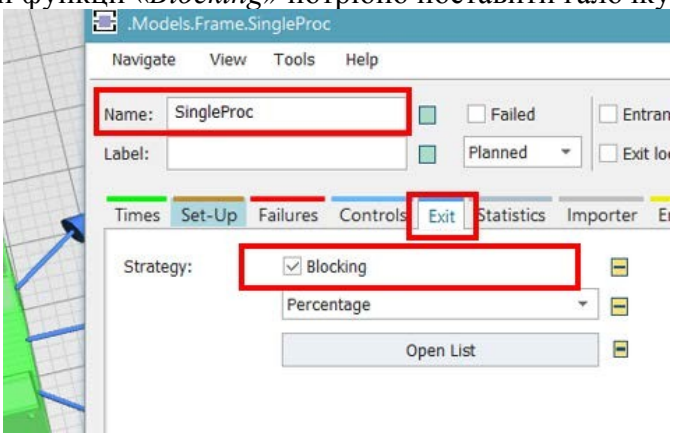


Рис. 3.42 Вибір опції Blocking

Необхідно з'ясувати, яким чином розподіляються деталі між верстатами. При наведенні курсора на елемент *«Connector»* з'являється підказка, яка вказує на послідовність транспортування деталей (рис. 3.43).

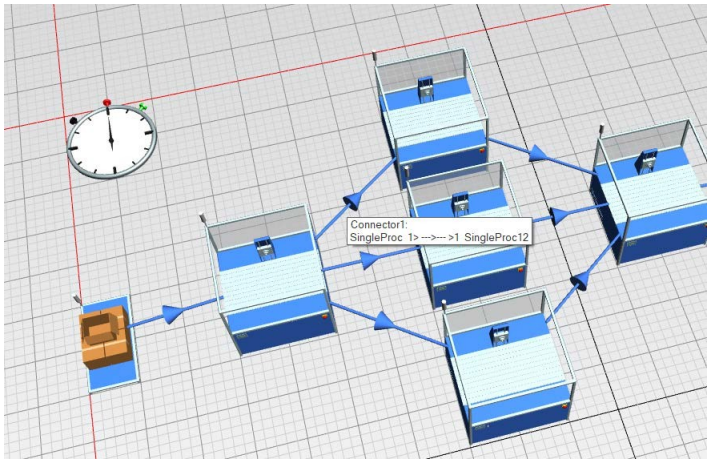


Рис. 3.43 Підказка, що з'являється при наведенні курсора на елемент «Connector»

Щоб перевірити відсоткове співвідношення завантаження верстатів, натисніть двічі на об'єкт «*Source*», серед варіантів «*Time of Creation*» оберіть «*Number Adjustable*» та встановіть кількість 1000 деталей (рис. 3.45).

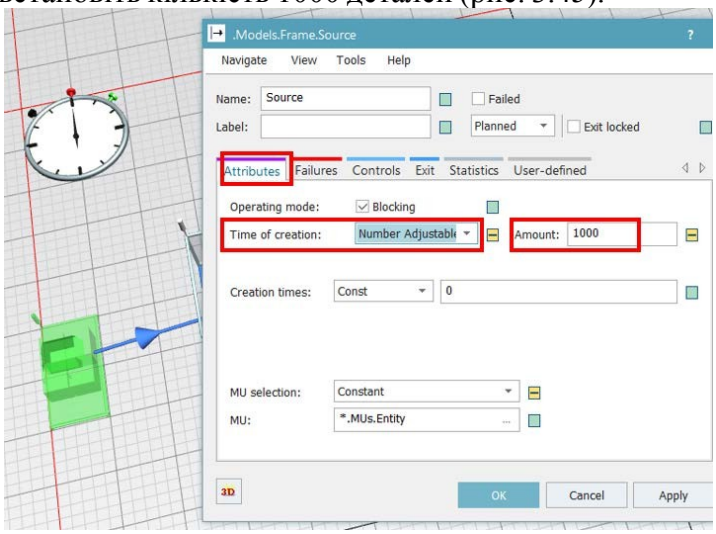


Рис. 3.45 Налаштування властивостей об'єкта «Source»

¶Тепер можете запустити симуляцію. Для того, щоб переглянути результати, виділіть паралельно розташовані об'єкти та елементи *«Connector»,* які пов'язують три верстати з найпершим (рис. 3.46). Потім натисніть «*F6*» або *«Fn+F6»*.

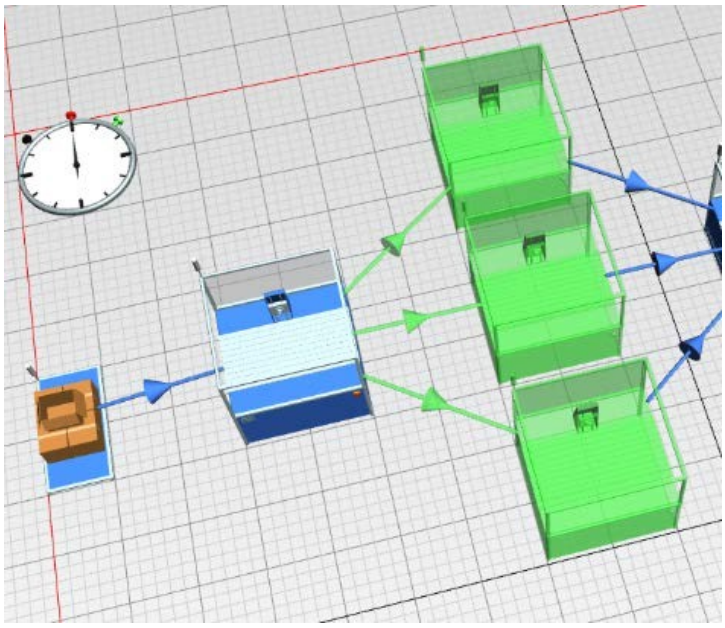


Рис. 3.46 Вибір необхідних об'єктів для формування звіту

Після цього з'явиться вкладка зі звітом статистичних даних (3.47).

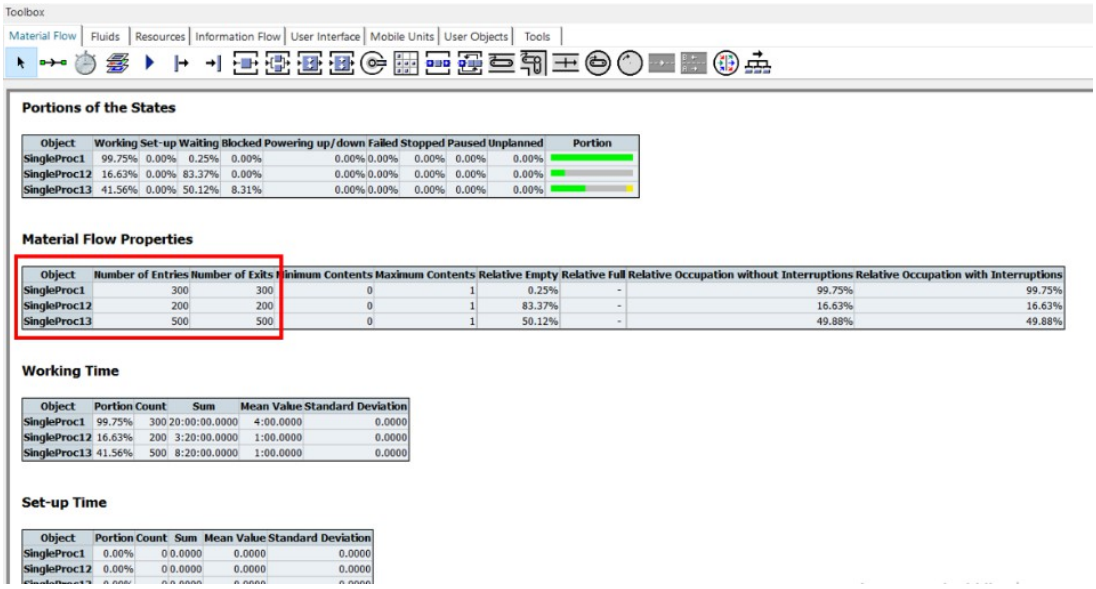


Рис. 3.48 Звіт статистичних даних

Як можна бачити зі звіту, з 1000 деталей на першому верстаті обробляється 200 штук (20%), на другому – 300 (30%) і на третьому – 500 деталей (50%). Статистичні задовольняють вихідним. Також подивимося на результати звіту без обрання функції «*Blocking*» (рис. 3.49).

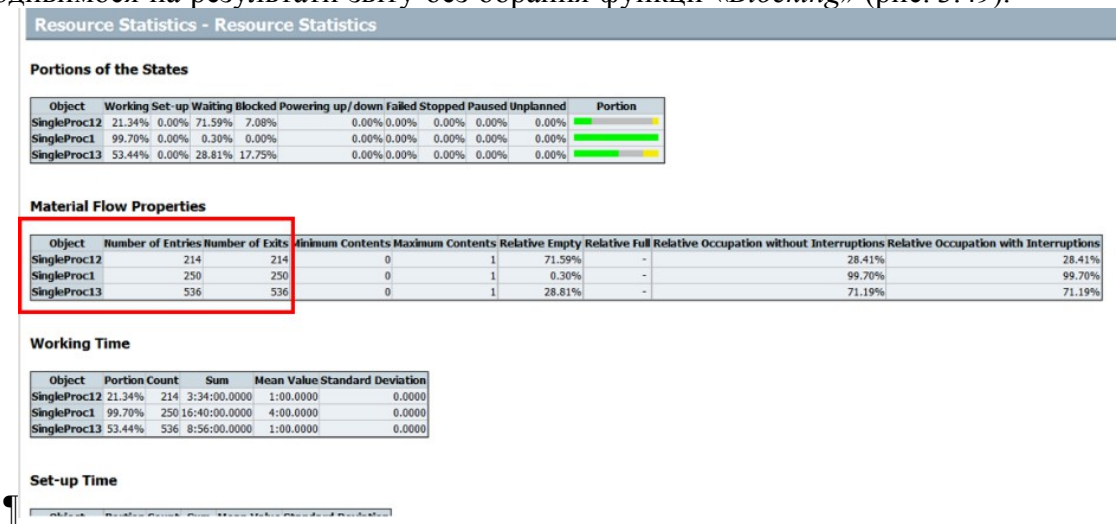


Рис. 3.49 Звіт статистичних даних після вимкнення функції Blocking

Результати змінилися, оскільки другий верстат витрачає більше часу на оброблення, аніж інші два. Отже, вимкнення функції «*Blocking*» реалізує такий розподіл завантаження між паралельно розташованими об’єктами, при якому деталь приймає той верстат, який знаходиться в режимі очікування. Тобто завантаженість верстату залежить від часу оброблення однієї деталі.

3.6. Створення власної стратегії розподілення деталей

Підготовка імітаційної моделі

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *“Create New Model”* (рис. 3.50). В наступному діалогово- му вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

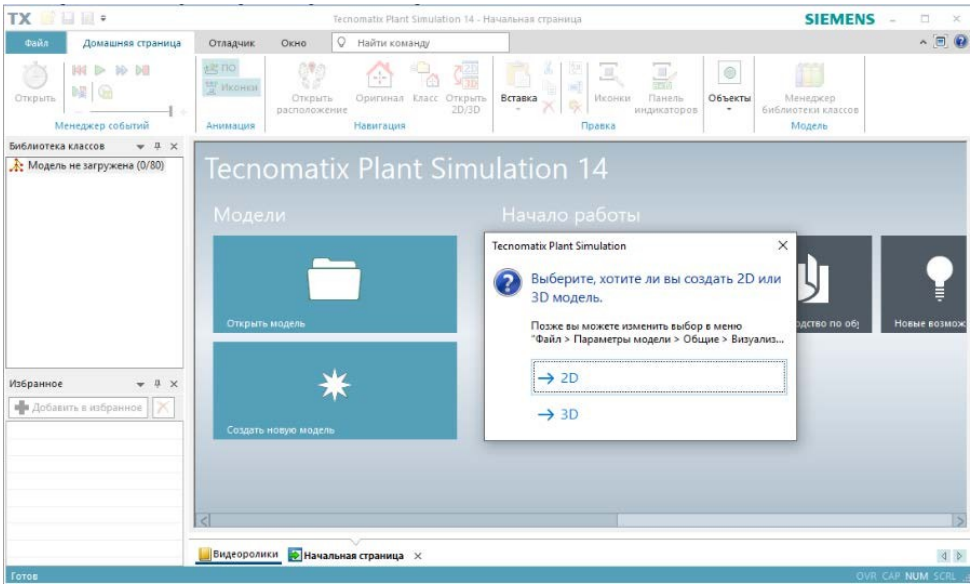


Рис. 3.50 Створення нової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *"Вид в плані"* (рис. 3.51), для цього необхідно обрати вкладку *"Вид"* → *"Вид в плані"*.

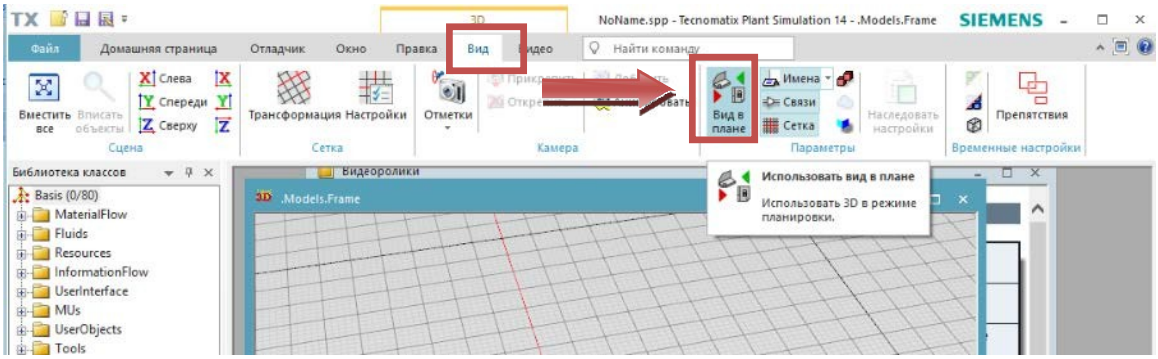


Рис. 3.51 Вибір режиму перегляду

Насамперед необхідно створити джерело постачання заготовок, використовуючи об'єкт *"Source"*. Для розміщення об'єкту *"Source"* користуємося панеллю об'єктів "*Toolbox*" (рис. 3.52).

¶

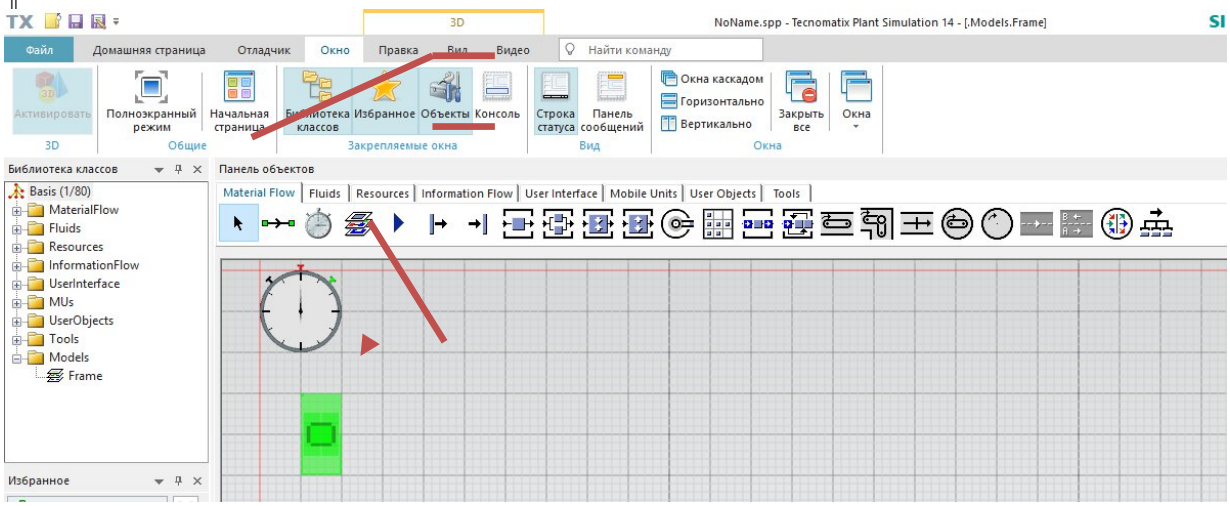


Рис. 3.52 Розміщення об'єкта "Source"

Тепер необхідно розмістити верстатне обладнання у кількості 5-х штук. Для цього в панелі об’єктів обираємо “*SingleProc”* (рис. 3.53). “*SingleProc*” – це узагальнений об'єкт, який може представляти робочу станцію або верстат, на якому витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

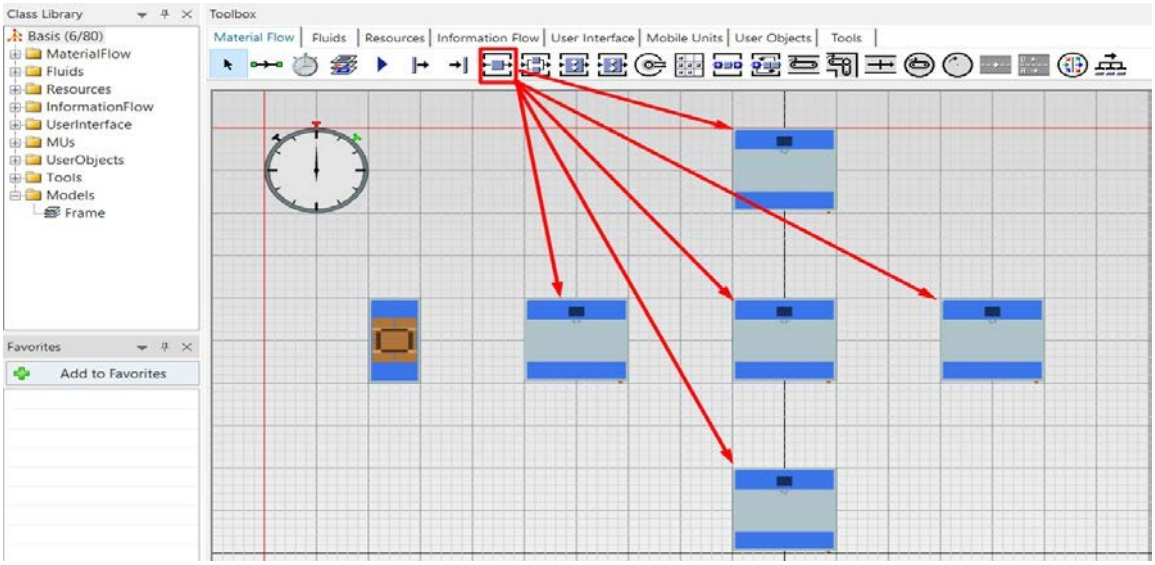


Рис. 3.53 Розміщення об’єктів “SingleProc”

Останній необхідний об'єкт – це сховище “*Drain*”. “*Drain*” необхідний для розміщення готових деталей. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, відділ відвантаження (рис. 3.54).

¶

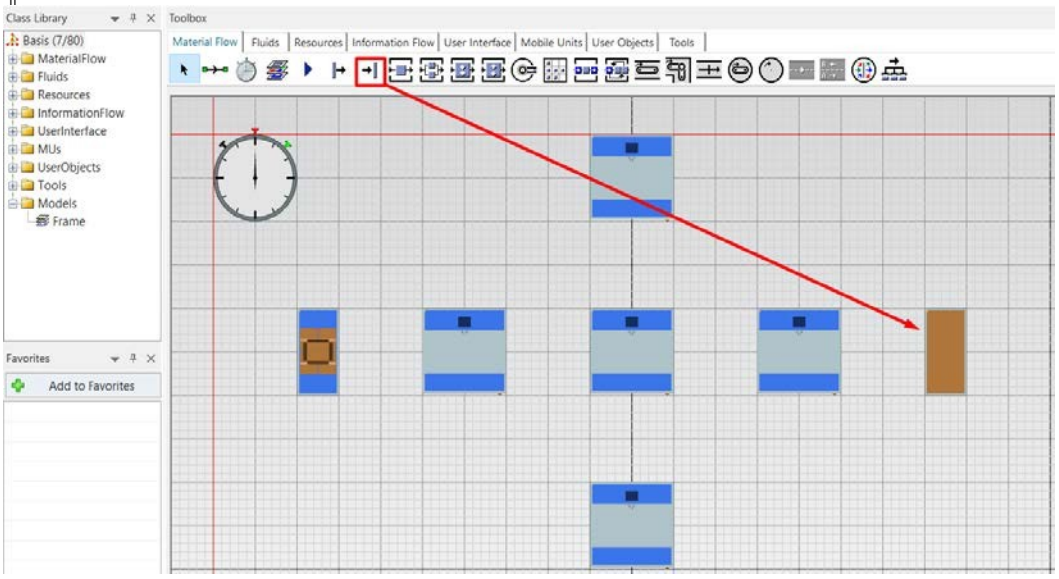


Рис. 3.54 Розміщення об’єкта “Drain”

Розміщені об’єкти необхідно з’єднати за допомогою об’єкту “*Connector*” (рис.3.56). Об’єкт типу “*Connector*” визначає переміщення деталей між дільницями виробничої лінії.

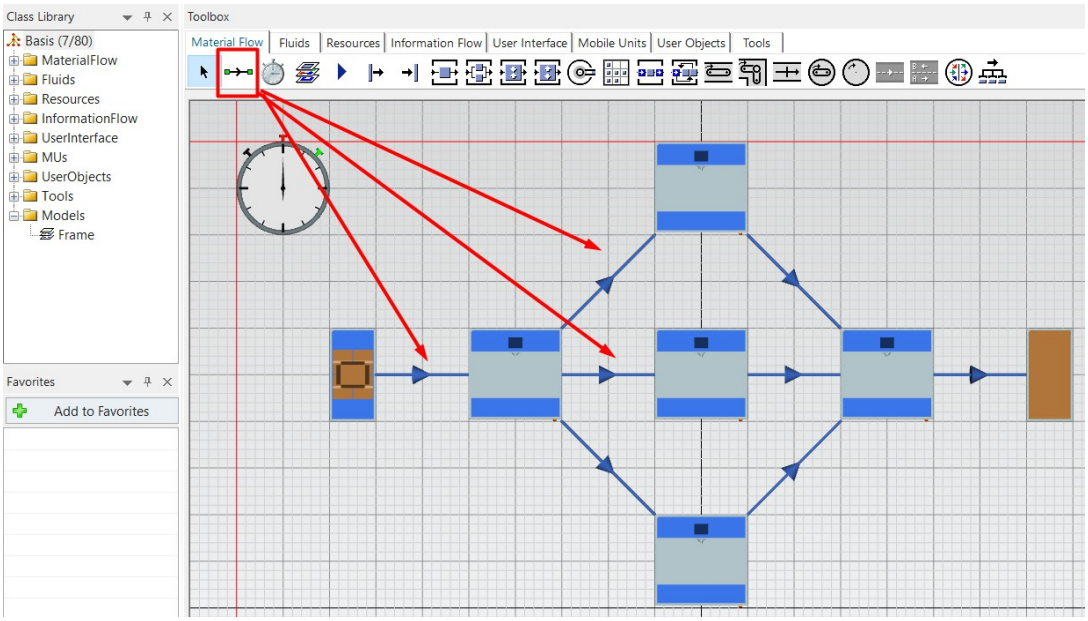


Рис. 3.56 З'єднання об'єктів за допомогою об'єкту "Connector"

Для кращого орієнтування між дільницями, перейменовуємо назву кожної дільниці з *"SingleProc"* на *"Station"*, додатково нумеруючи з 1 по 5 позицію. Для цього виділяємо необхідну дільницю та натискаємо клавішу *"F2"* (рис. 3.57).

¶

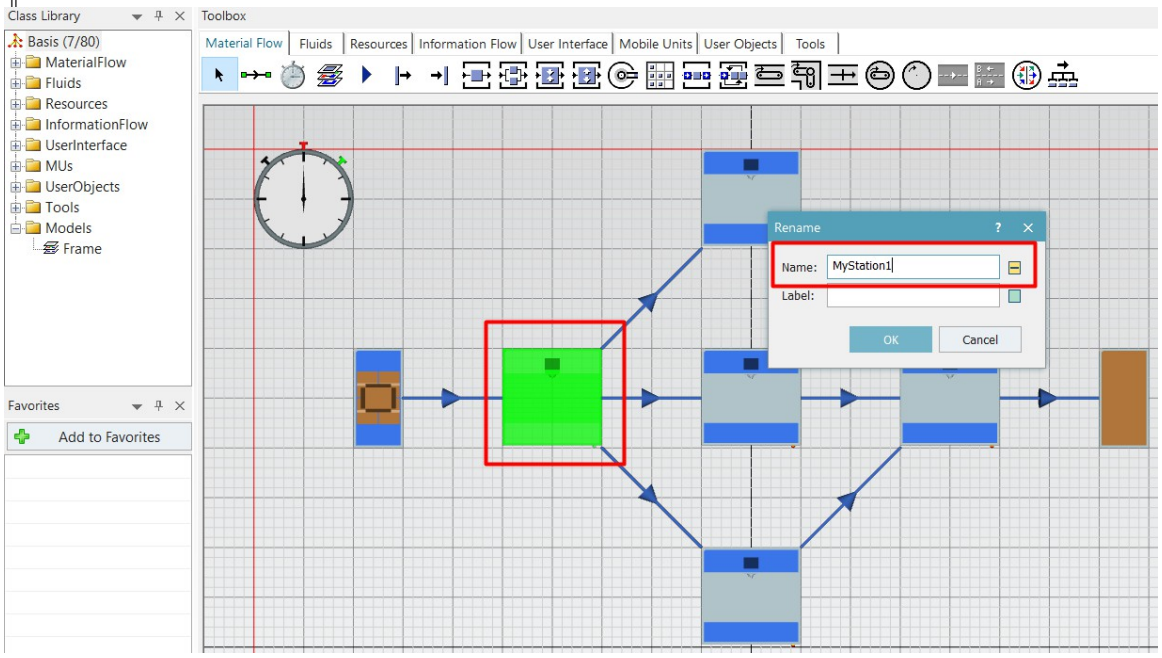


Рис. 3.57. Перейменування дільниць виробничої лінії

Далі налаштовуємо відображення назви дільниці використовуючи команду *"Edit 3D Properties"*, для виклику якої наводимо курсор на об'єкт *"SingleProc"* у панелі об'єктів *"Toolbox"* та натискаємо праву кнопку миші (рис. 3.58).

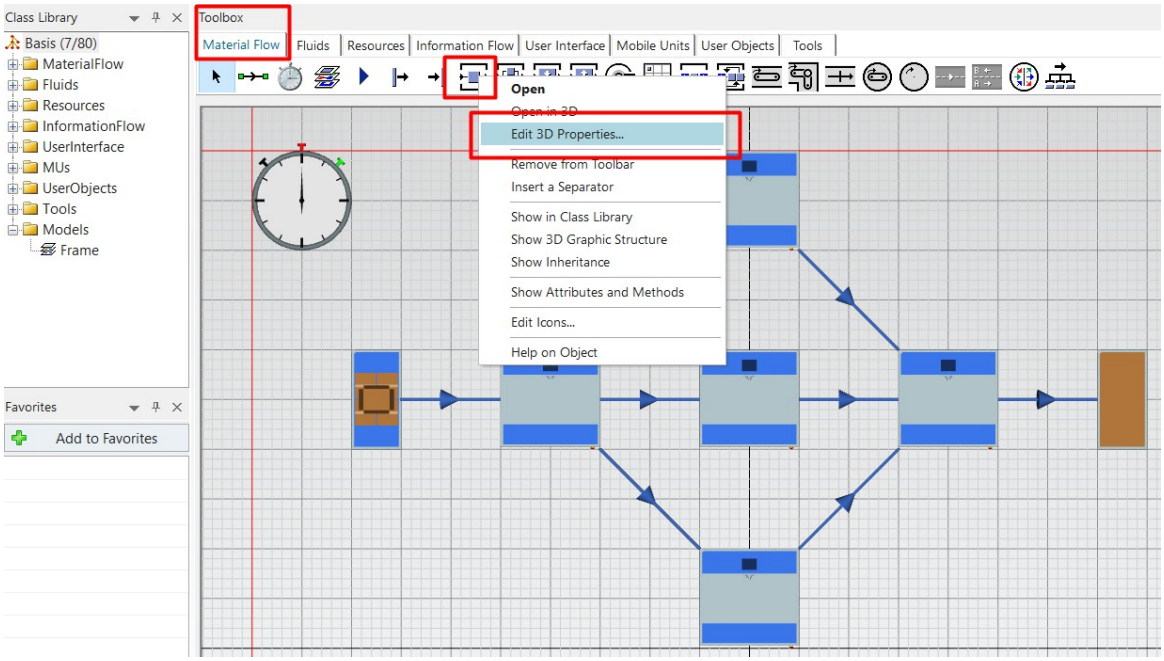


Рис. 3.58 Налаштування відображення назви дільниць

У діалоговому вікні, що відкрилося обираємо вкладку *"Captions"* та ставимо відмітку навпроти команди *"Name/label enabled"* (рис. 3.59).

¶

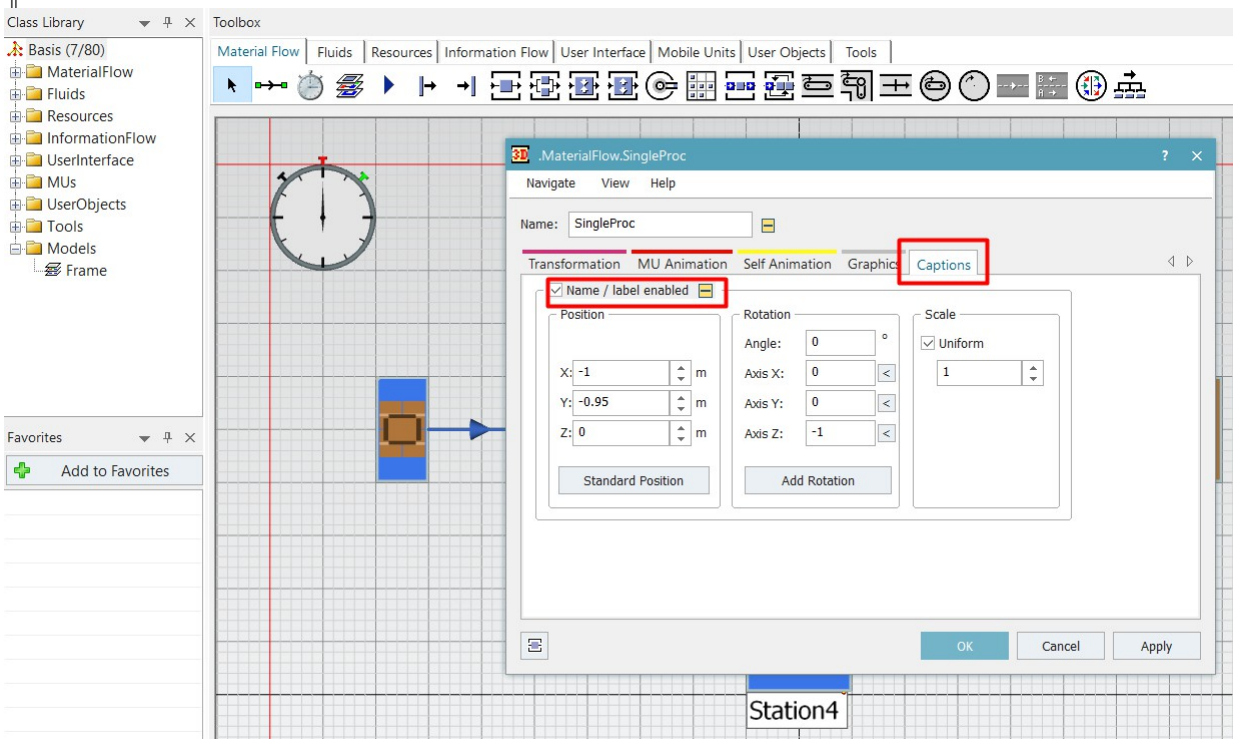


Рис. 3.59 Налаштування відображення назви дільниць

Задаємо ємність об'єкту "*Source*", двічі натиснувши на нього лівою кла- вішею миші. У вкладці *"Attributes"* встановлюємо ємність у 1000 одиниць (рис. 3.60).

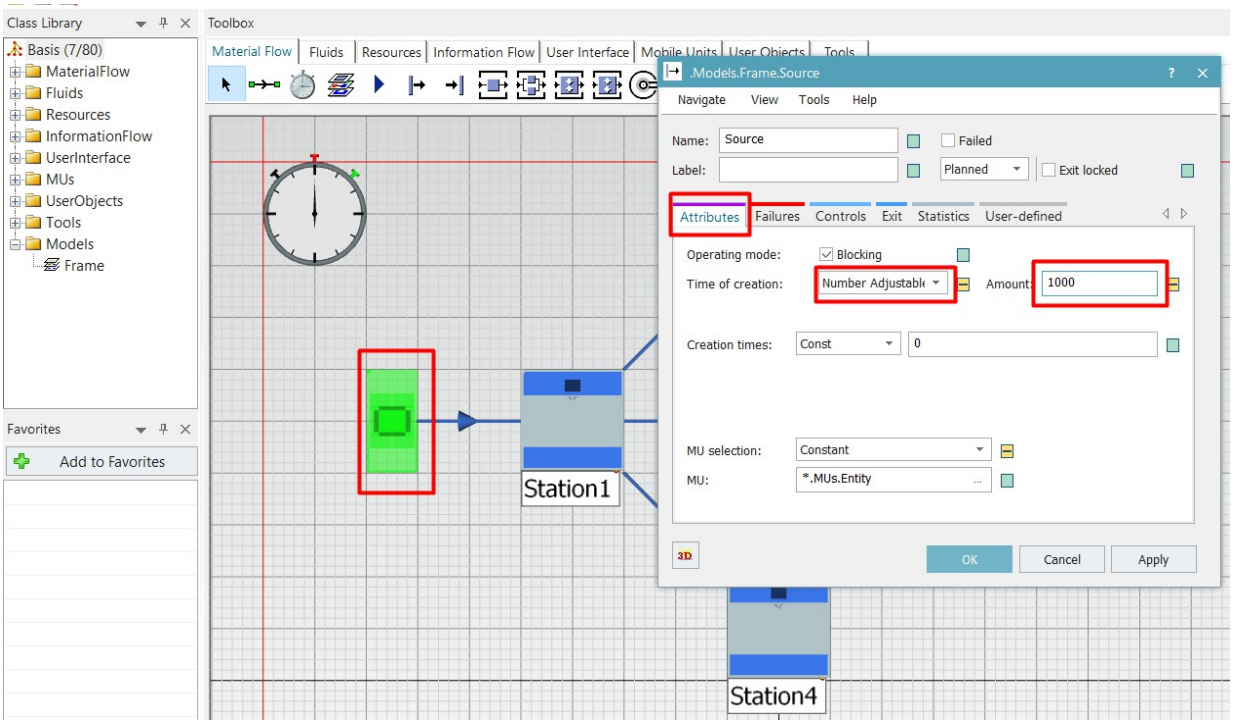


Рис. 3.60 Налаштування ємності об'єкту "Source"

¶

Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу переходимо в 3D режим, для цього на вкладці "Вид" дезактивуємо параметр відображення "Вид в плані" (рис. 3.61). Управління імітацією відбувається на вкладці *"Event Controller"*.

Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку «*Reset Simulation*», а потім кнопку «*Start/Stop Simulation*». Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки «*Start/Stop Simulation*».

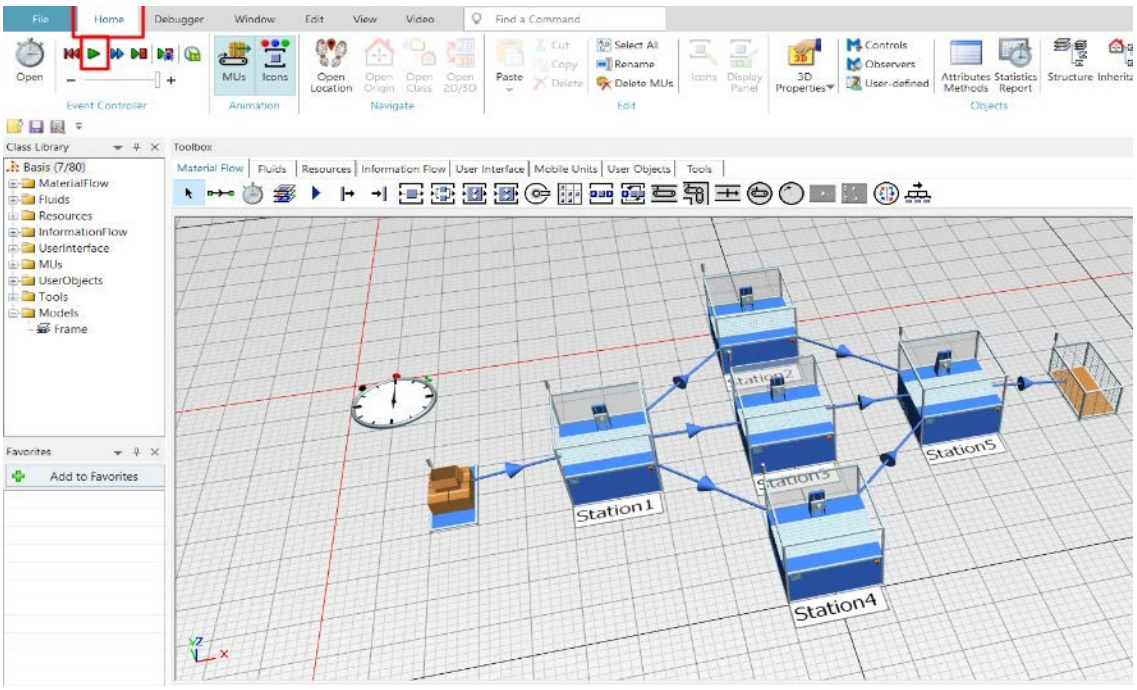


Рис. 3.61 Імітація виробничого процесу

3.7. Аналіз результатів імітації та корекція моделі

Для ознайомлення з результатами виробничого процесу очікуємо закін- чення імітації, виділяємо об'єкти *"Station"* з 2-го по 4-й та натискаємо клавішу *"F6"*. У вікні, що відкрилося, знаходимо таблицю під назвою "*Material Flow Properties"* (рис. 3.62).

¶

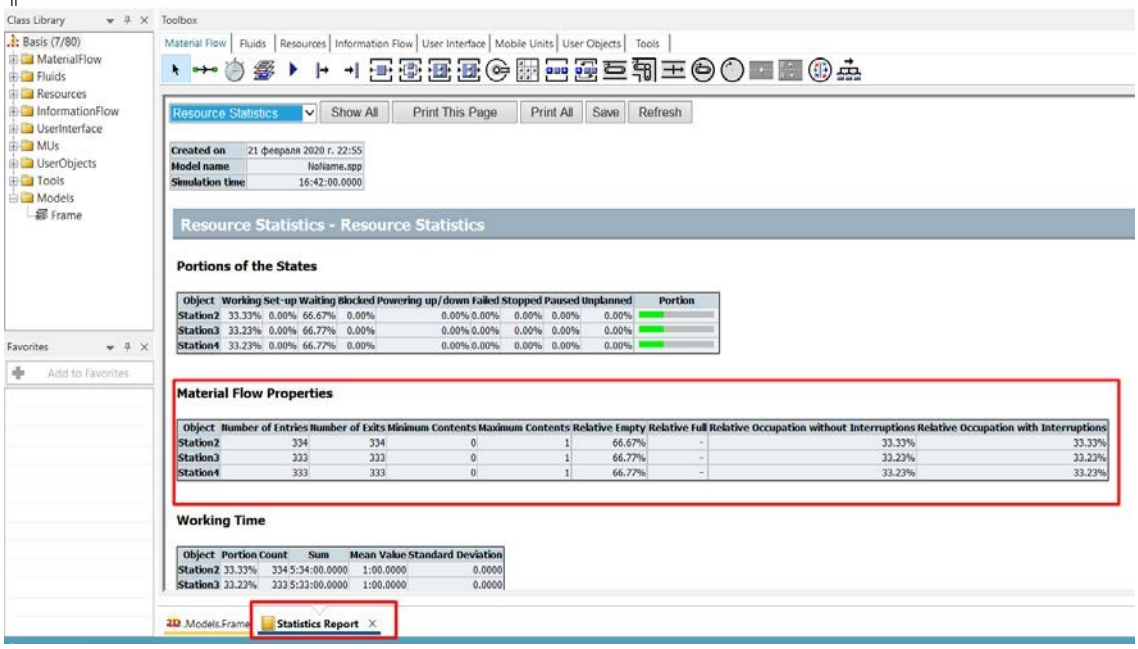


Рис. 3.62 Аналіз результатів імітації

Для розроблення власної стратегії розподілу деталей між дільницями додаємо об'єкт *"Method"*, розташований на вкладці *"Information Flow"* у па- нелі об'єктів *"Toolbox"* (рис. 3.63).

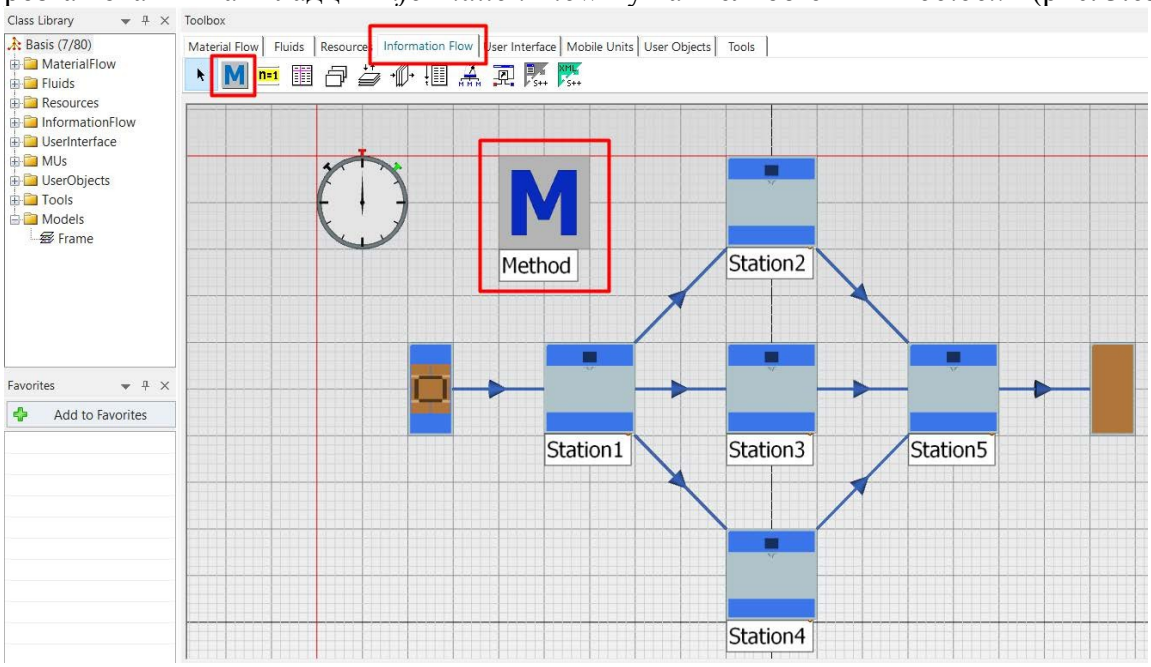


Рис.3.63 Розміщення об'єкту "Method"

Перейменовуємо об'єкт*"Method"*, виділивши його та натиснувши клавішу *"F2"* на *"MyExitControl"* (рис. 3.64).

¶

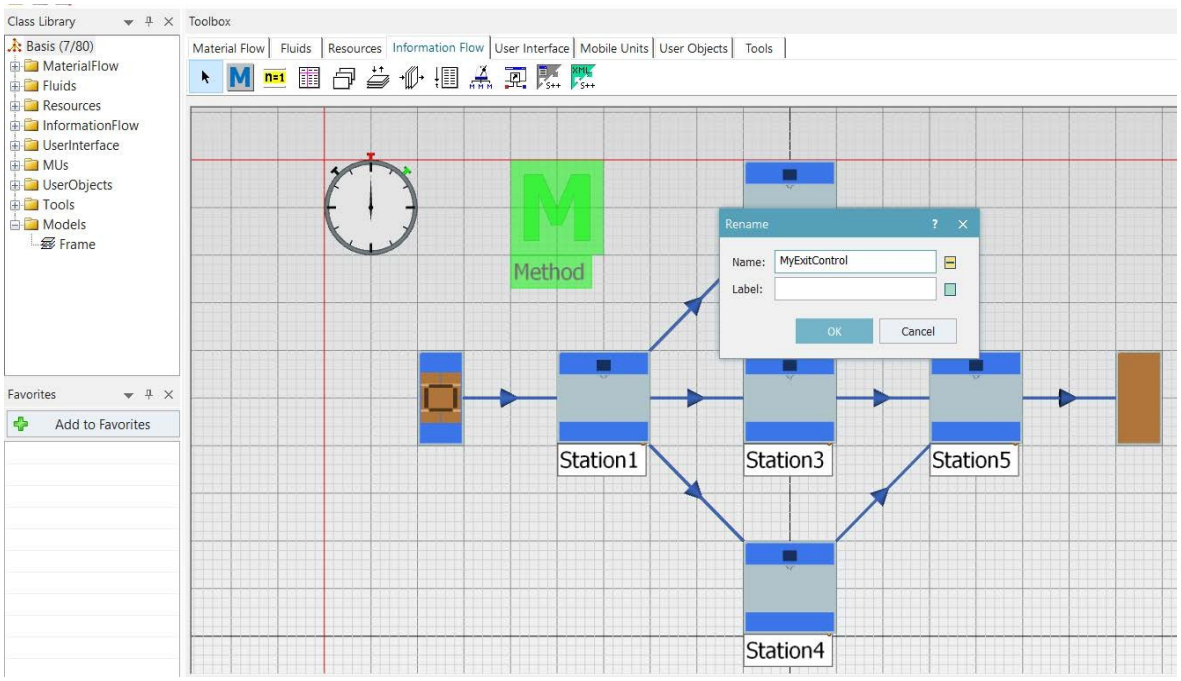


Рис.3.64 Перейменування об'єкту "Method"

Далі виділяємо об'єкт *"Method"* та перетягуємо його на дільницю*"Sta- tion1"* (рис. 3.65).

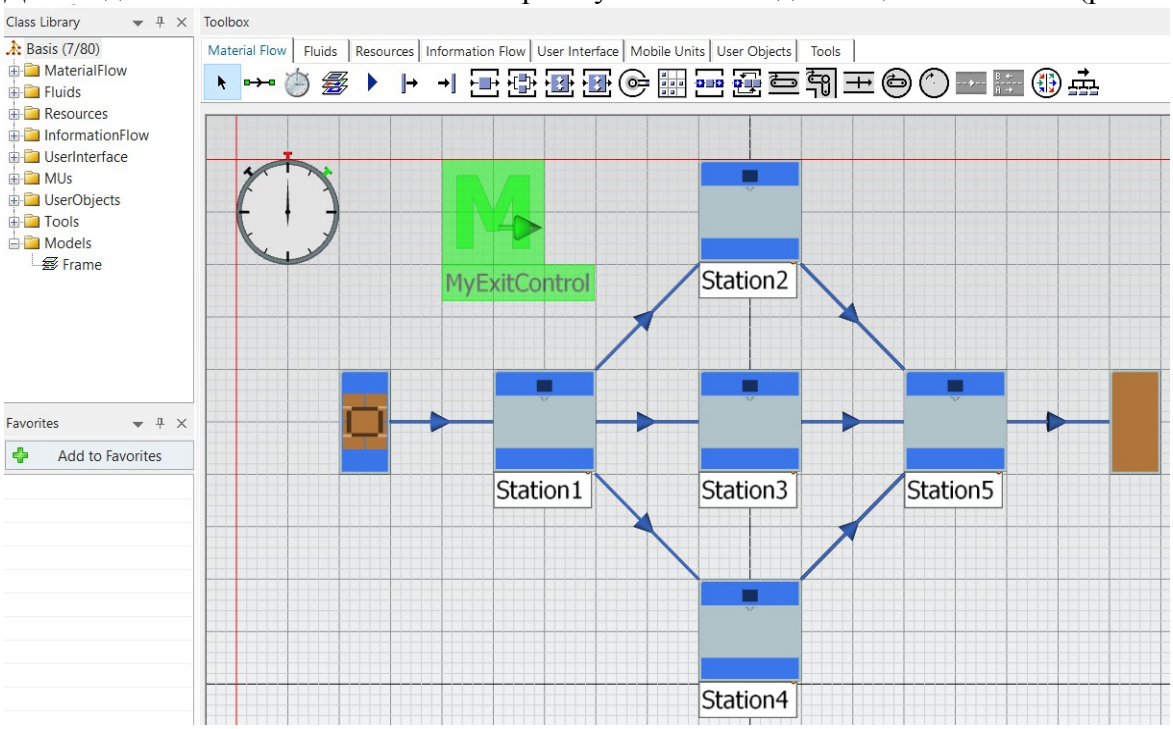


Рис. 3.65 Створення функціонально зв'язку між об'єктами

Подвійним кліком на об'єкт *"Method"* активуємо діалогове вікно. Потім використовуючи команду *"Control Structure"* на вкладці *"Templates"* з відкритого списку операторів обираємо *"if...elseif...end"* та записуємо наступні строки коду, та натискаємо *"Apply Changes"*(рис.3.67):

```
¶var n : integer := Station1.statNumIn if n <= 100
@.move(Station2) elseif n <= 300 @.move(Station3) else @.move(Station4) end
```

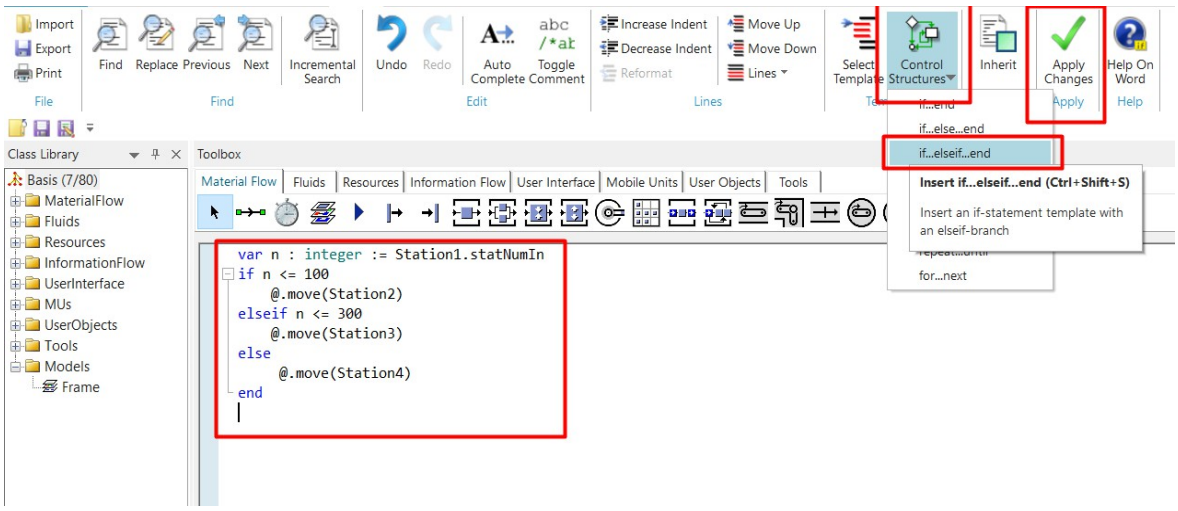


Рис. 3.67 Програмування стратегії розподілення

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу та чекаємо закінчення процесу. Виділяємо об'єкти *"Station"* з 2-го по 4-й та натискаємо клавішу *"F6"*. У вікні, що відкрилося знаходимо таблицю під назвою "*Material Flow Properties"*(рис. 3.68).

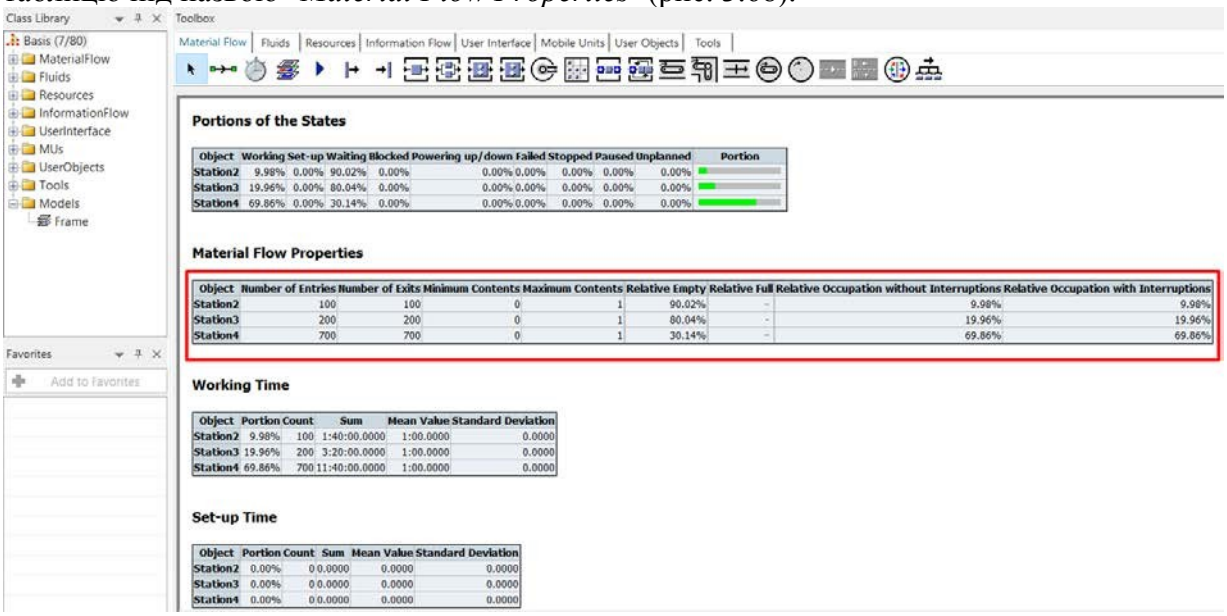


Рис.3.68 Аналіз результатів імітації зі створеною стратегією розподілення деталей

¶Для кращого сприйняття розподілу деталей між дільницею зі створеною власною стратегією, зменшимо швидкість процесу імітації, натиснувши лівою кнопкою миші на команду *"Open"* та скоригувавши швидкість повзуном (рис. 3.69).

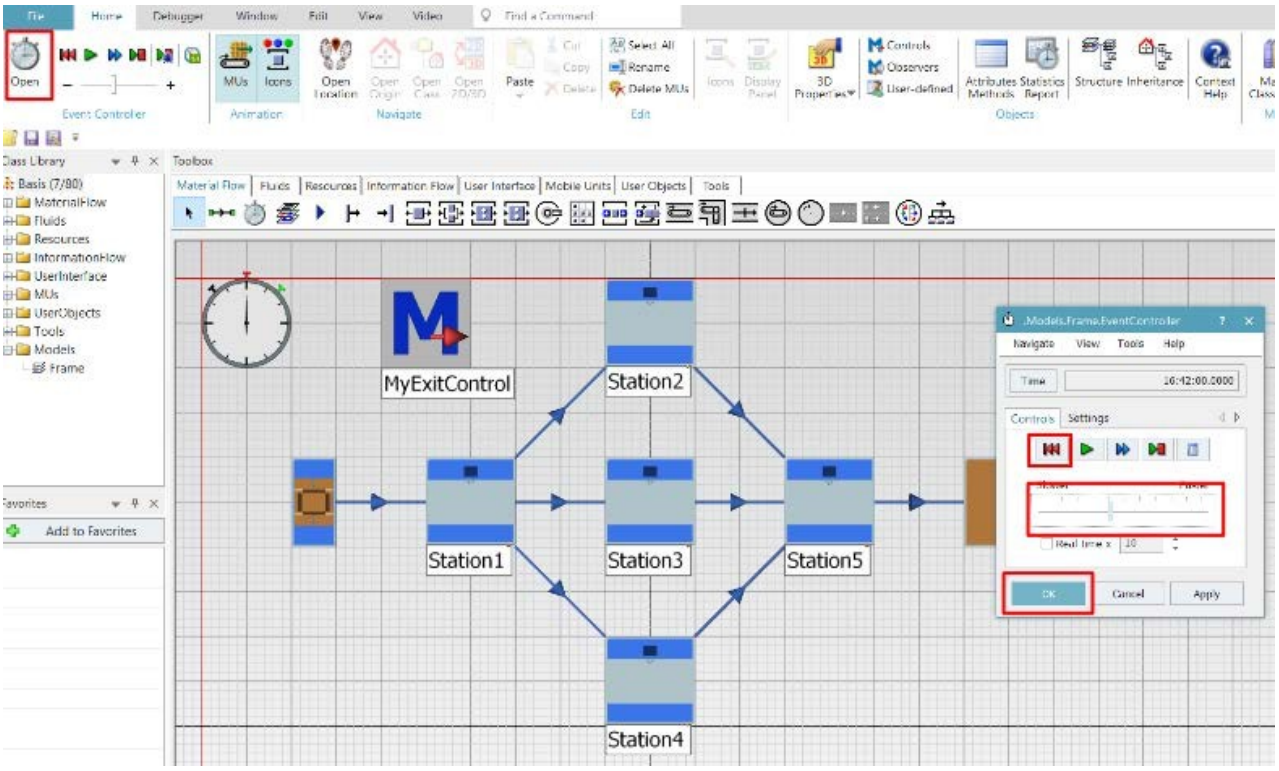


Рис. 3.69 Зменшення швидкості протікання процесу імітації

Примітка: Кількість верстатів – це кількість в стовбці рис.3.70

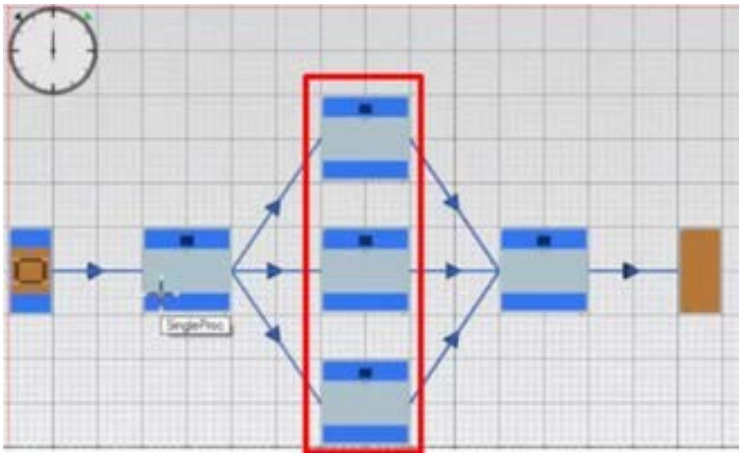


Рис.3.70 Кількість стовбців

3.8. Моделювання виробничої лінії з робітниками

Підготовка імітаційної моделі

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *"Create New Model"* (рис. 3.71). В наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

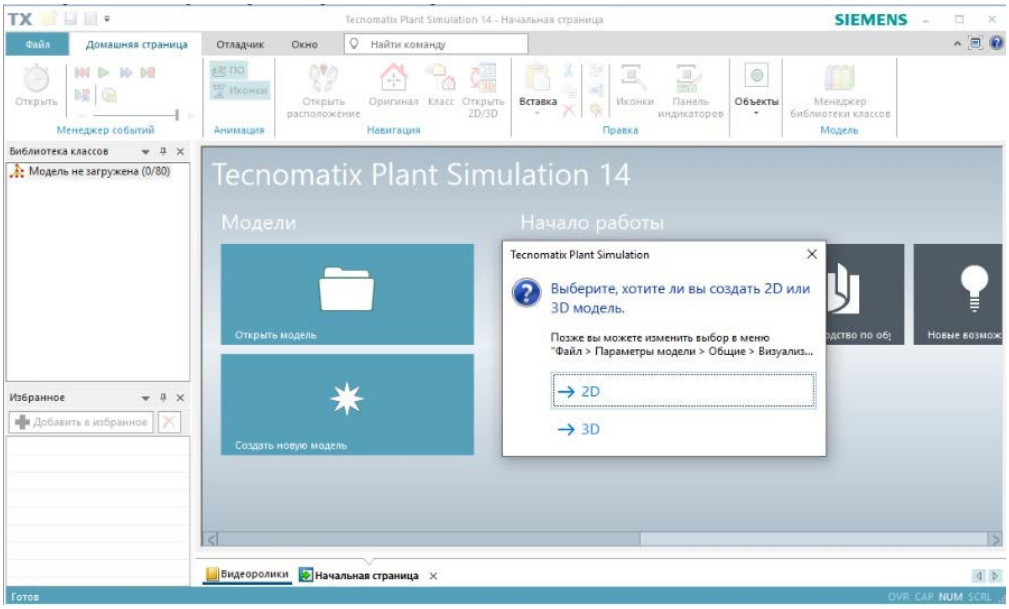


Рис. 3.71 Створення нової моделі

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *"Вид в плані"* (рис.3.72), для цього необхідно обрати вкладку *"Вид"* → *"Вид в плані"*.

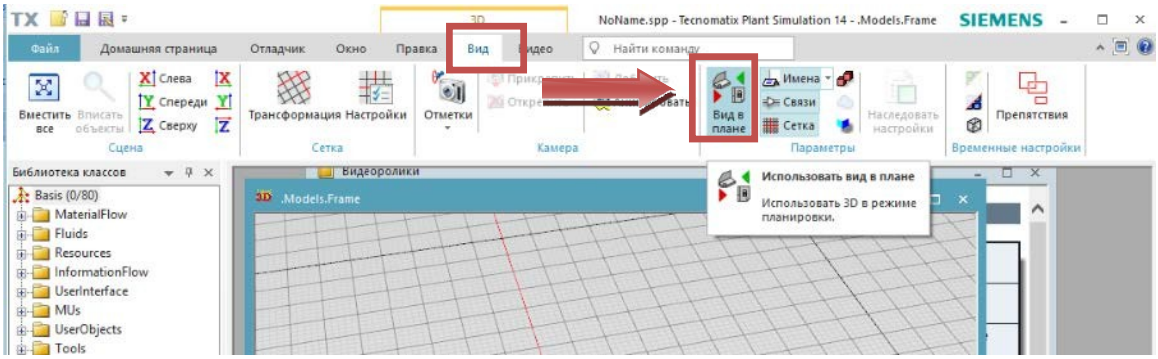


Рис. 3.72. Вибір режиму перегляду

Насамперед необхідно створити джерело постачання заготовок, використовуючи об'єкт *"Source"*. Для розміщення об'єкту *"Source"* користуємося панеллю об'єктів "*Toolbox*" (рис.3.73).

¶

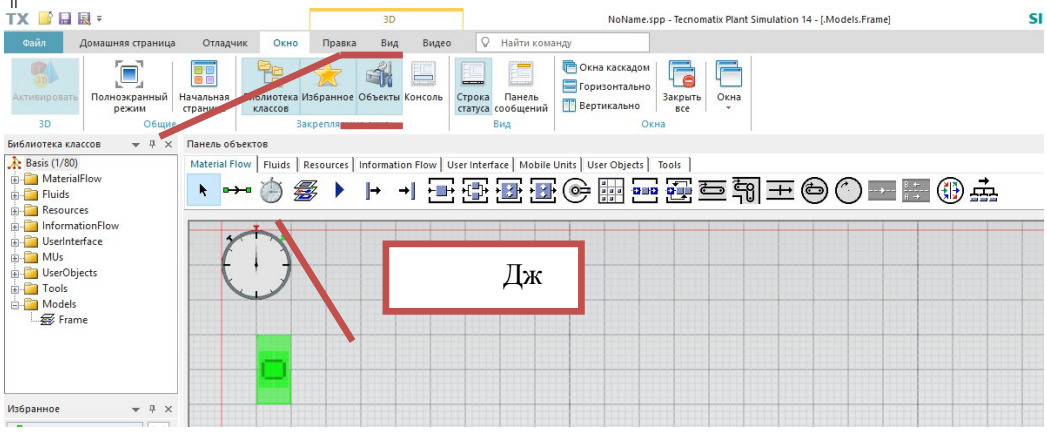


Рис. 3.73 Розміщення об'єкта "Source"

Тепер необхідно розмістити верстатне обладнання у кількості 4-х штук. Для цього в панелі об'єкті обираємо "*SingleProc*" (рис.3.74). "*SingleProc*" – це узагальнений об'єкт, який може представляти

робочу станцію або верстат, на якому витрачається певна кількість часу для обробки деталі.

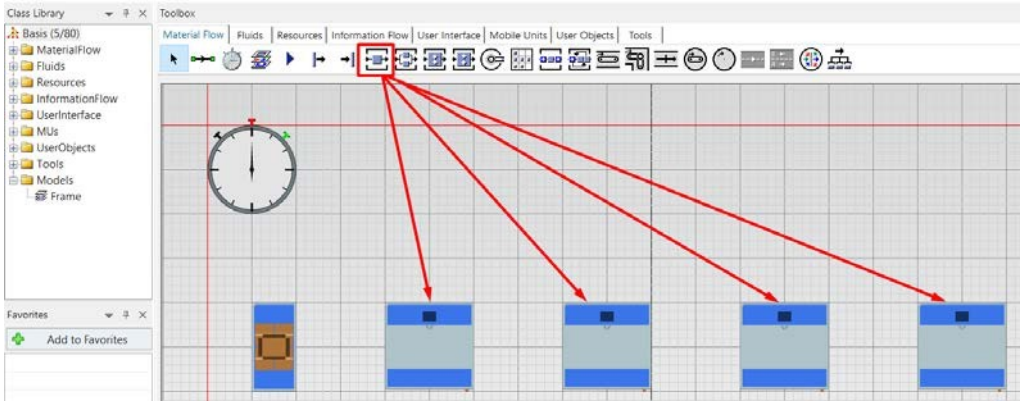


Рис. 3.73. Розміщення об'єктів "SingleProc"

Останній необхідний об'єкт – це сховище "*Drain*". "*Drain*" необхідний для розміщення готових деталей. На підприємстві, це може бути, наприклад, склад готової продукції, відділ відвантаження (рис.3.75).

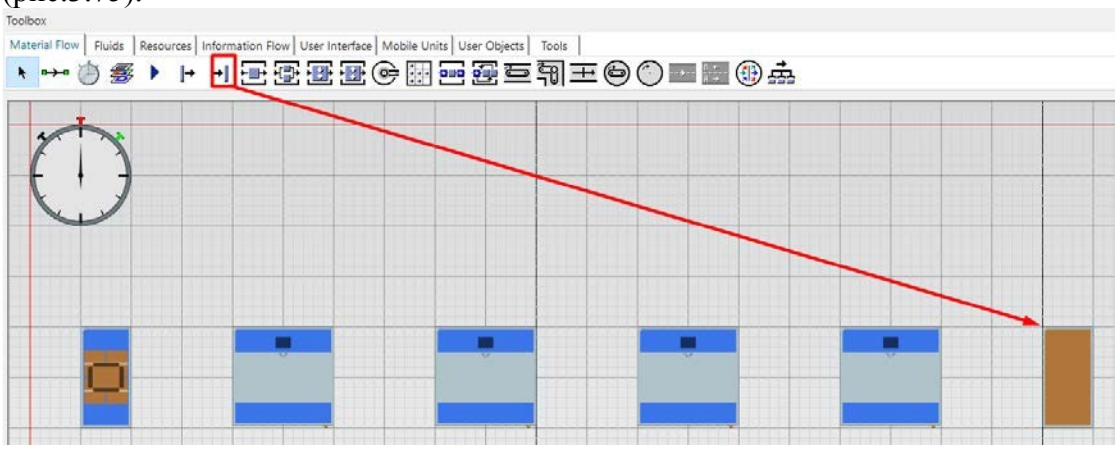


Рис. 3.75 Розміщення об'єкта "Drain"

¶Розміщені об'єкти необхідно з'єднати за допомогою об'єкту "*Connector*" (рис.3.76). Об'єкт типу "*Connector*" визначає переміщення деталей між дільницями виробничої лінії.

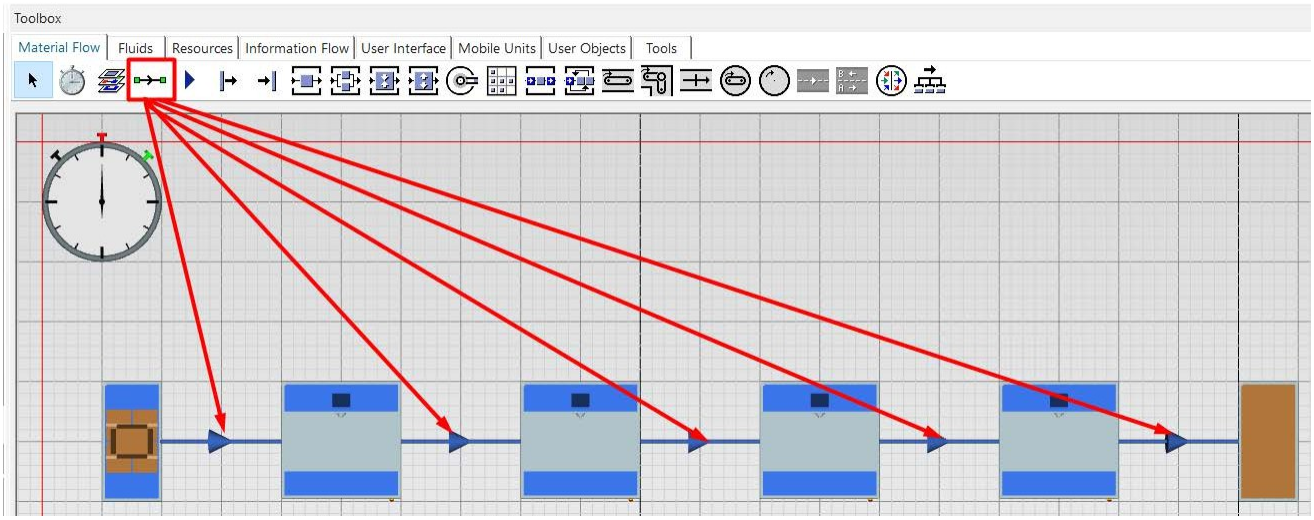


Рис. 3.76 З'єднання об'єктів за допомогою об'єкту "Connector"

Далі необхідно додати робочі місця біля дільниць. Використовуючи панель об'єктів "*Toolbox*" , на вкладці *"Resources"* знаходимо команду *"Workplace"* та розміщаємо необхідну кількість робочих

місць (рис.3.77).

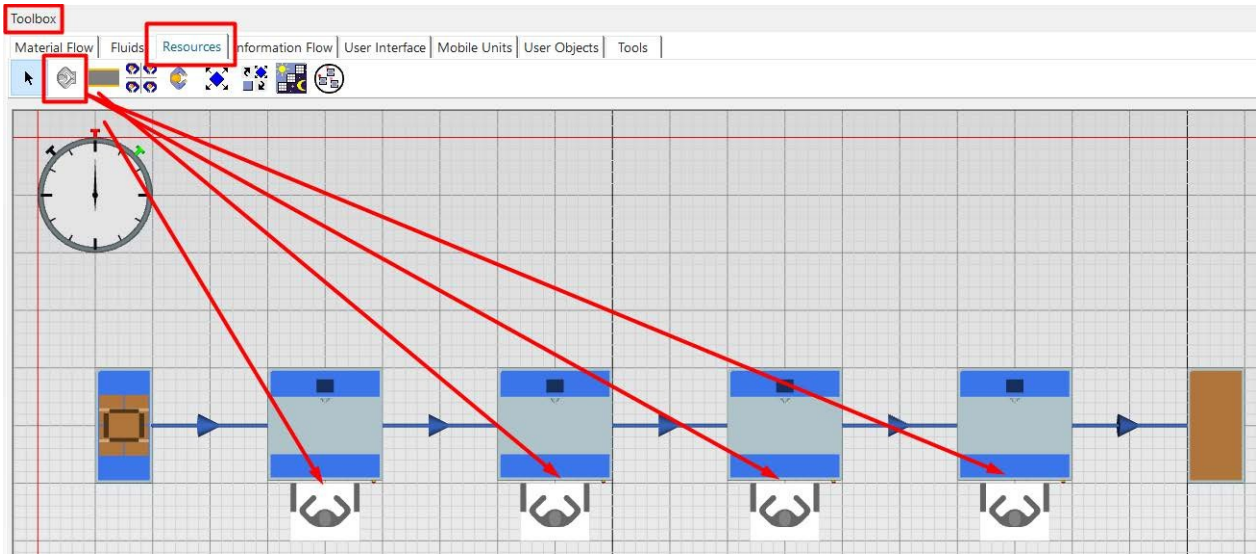


Рис. 3.77 Розміщення робочих місць

Розміщуємо об'єкт *"Workerpool"*, що являє собою приміщення з якого робітники прямують до робочих місць та об'єкт *"Broker"* (рис.3.78).

¶

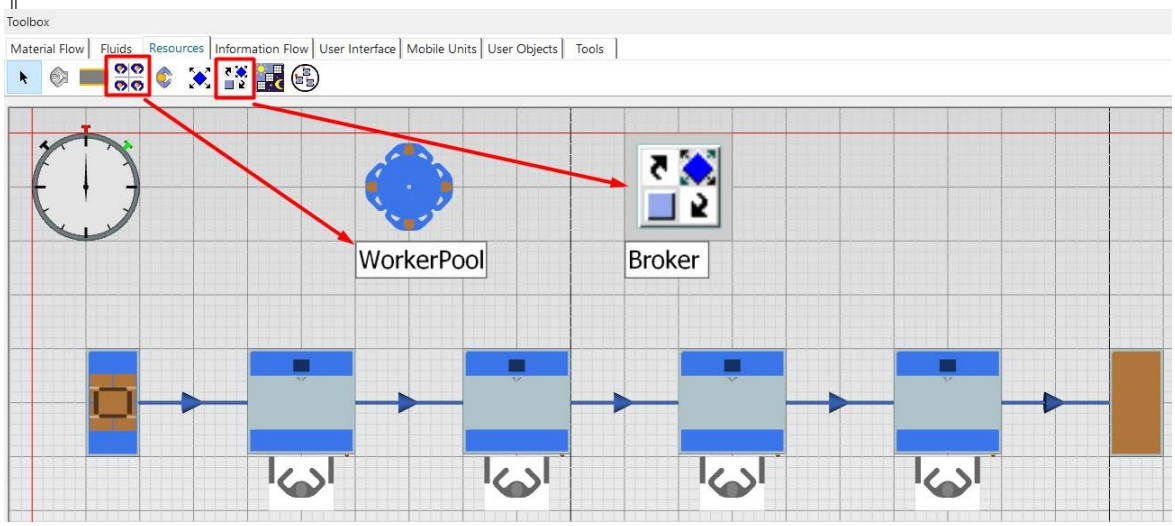


Рис. 3.78 Розміщення об'єктів "Workerpool" та "Broker"

Імітація виробничого процесу

Для запуску імітації виробничого процесу переходимо в 3D режим, для цього на вкладці *"Вид"* дезактивуємо параметр відображення *"Вид в плані"* (рис.3.79). Управління імітацією відбувається на вкладці *"Event Controller"*. Перед запуском імітації необхідно натиснути кнопку "*Reset Simulation*", а по- тім кнопку "*Start/Stop Simulation*". Через декілька секунд зупиняємо процес повторним натисканням кнопки "*Start/Stop Simulation*".

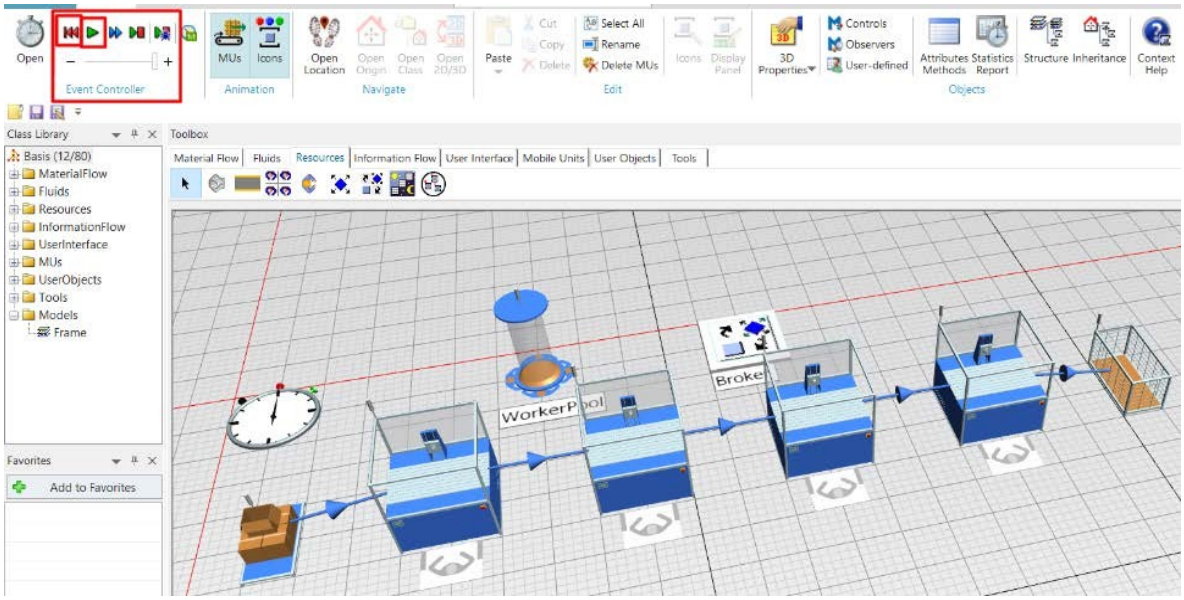


Рис. 3.79 Імітація виробничого процесу

Аналіз результатів імітації та корекція моделі

В процесі імітації не були задіяні робітники, через те що необхідно попередньо налаштувати можливість роботи працівників за робочими станціями. Для цього двічі натискаємо лівою клавішею миші по дільниці та на

¶вкладці *"Importer"* активуємо функцію *"Active"*. Повторюємо дану процедуру для всіх чотирьох дільниць (рис.3.80).

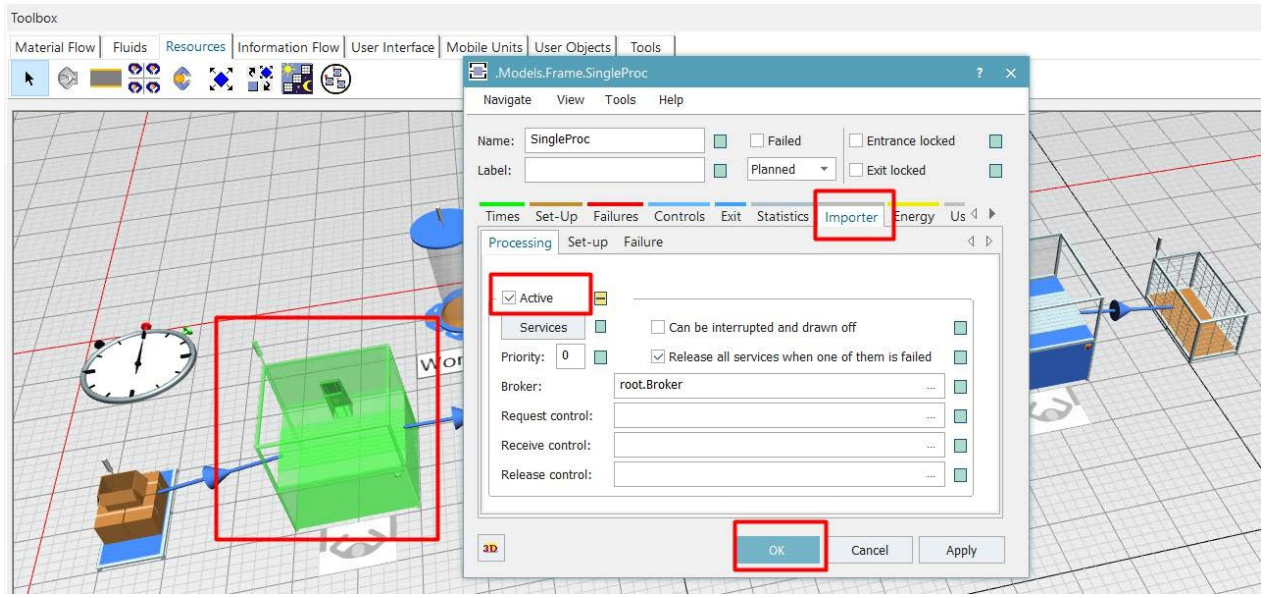


Рис. 3.80 Активація можливості роботи працівника на дільниці

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу. Тепер є можливість спостерігати наявність працівників на робочих місцях (рис.3.81).

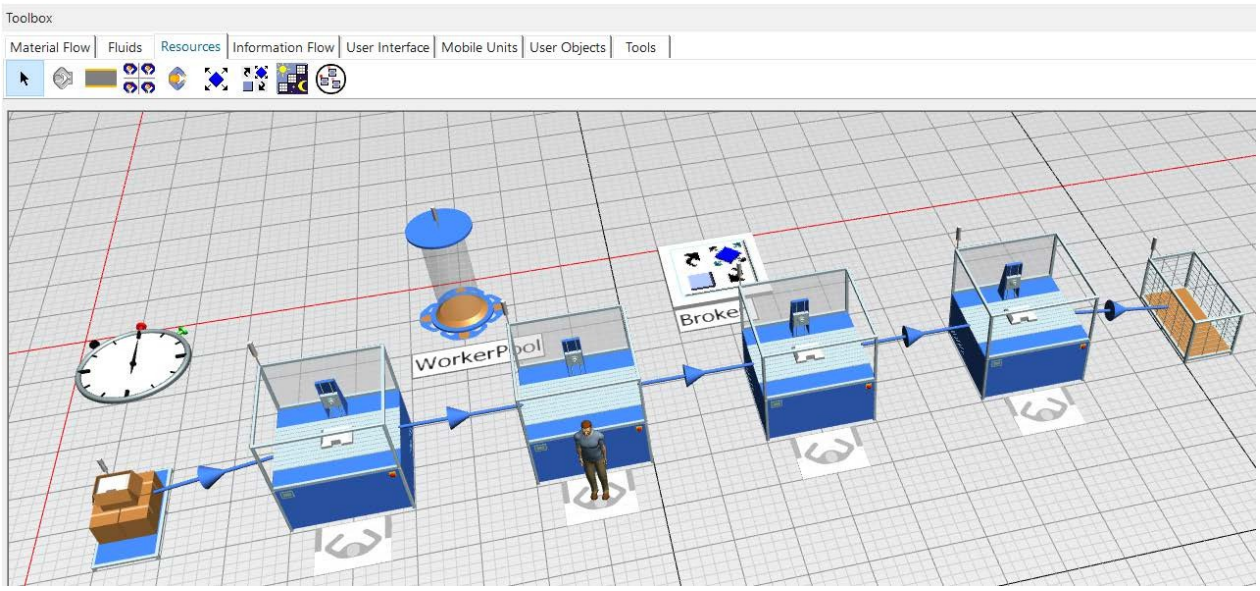


Рис. 3.81 Імітація виробничого процесу

Для збільшення продуктивності виробничого процесу необхідно збільшити кількість працівників, для цього двічі натискаємо лівою клавішею миші на об'єкт *"Workerpool"*. На вкладці *"Attributes"* вмикаємо функцію *"Workers"* та активуємо команду *"Create Table"*. У колонці *"Amount"* збільшуємо кількість робітників до 2-х (рис.3.82).

¶

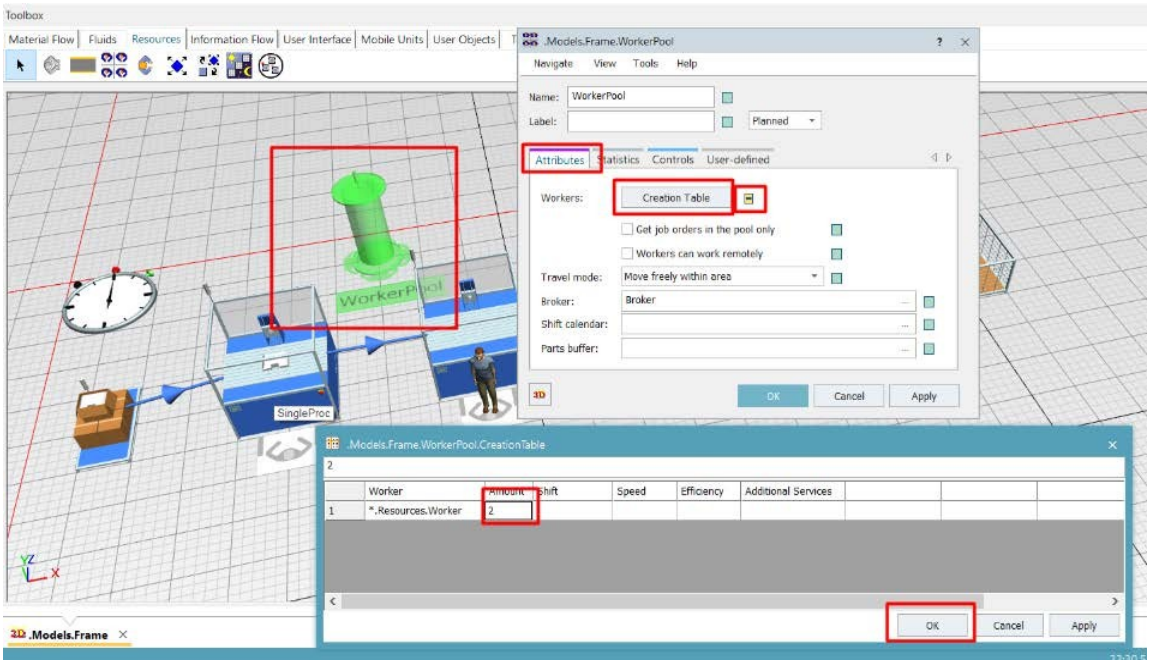


Рис. 3.82. Збільшення кількості робітників

Також необхідно змінити схему роботи працівників для того щоб реалізувати конфігурацію, при якій перший робітник працює на першій та другій дільницях, а другий – на третій та четвертій дільницях. Для цього переходимо у властивості першого об'єкта *"Station"*, двічі натиснувши на нього лівою клавішею миші. На вкладці *"Importer"* активуємо функцію *"Services"*, поставивши навпроти відмітку. Далі натискаємо *"Services"*, у вікні, що відкрилося, у колонці *"Service"* змінюємо текст на *"job1"* (рис.3.83).

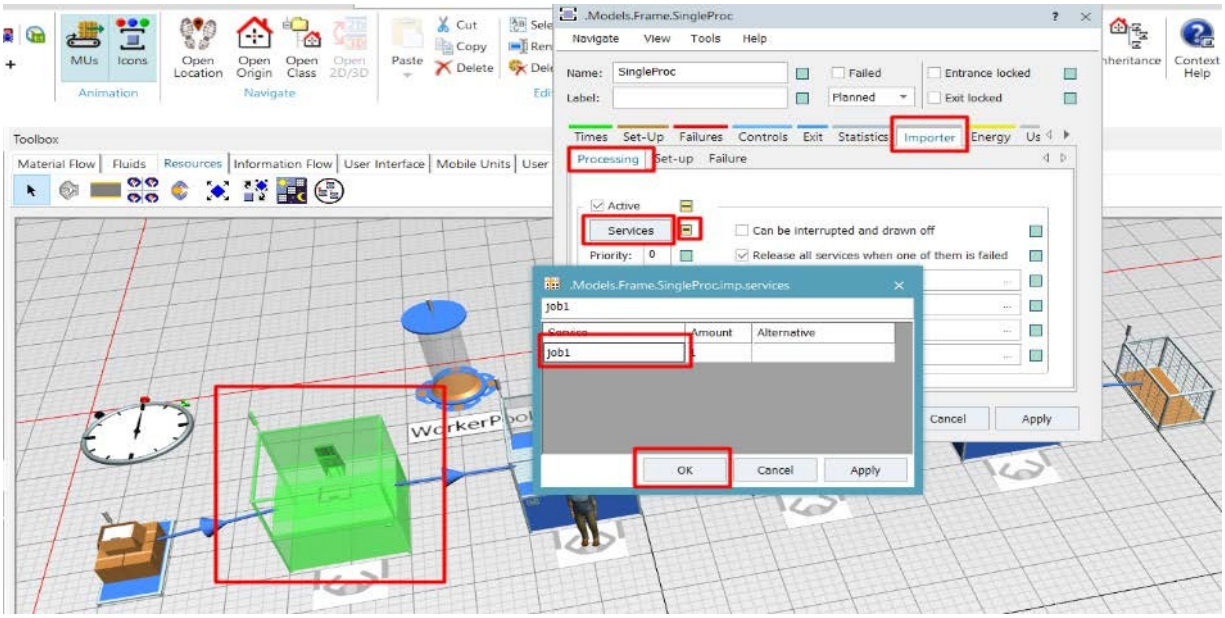


Рис. 3.83 Зміна конфігурації роботи працівників на дільницях

¶Повторюємо цю операцію на дільницях 2,3 та 3. На дільницях 3 та 4 у колонці *"Service"* змінюємо текст на *"job2"*. Переходимо у властивості об'єкта *"WorkerPool"*, активувавши його подвійним натиском лівої клавіші миші. На вкладці *"Attributes"* активуємо команду *"Create Table"*. Заповнюємо таблицю як показано нижче, додавши попередньо ще одну строку. Для цього необхідно натиснути праву клавішу миші та обрати команду *"Insert Row"* (рис.3.84).

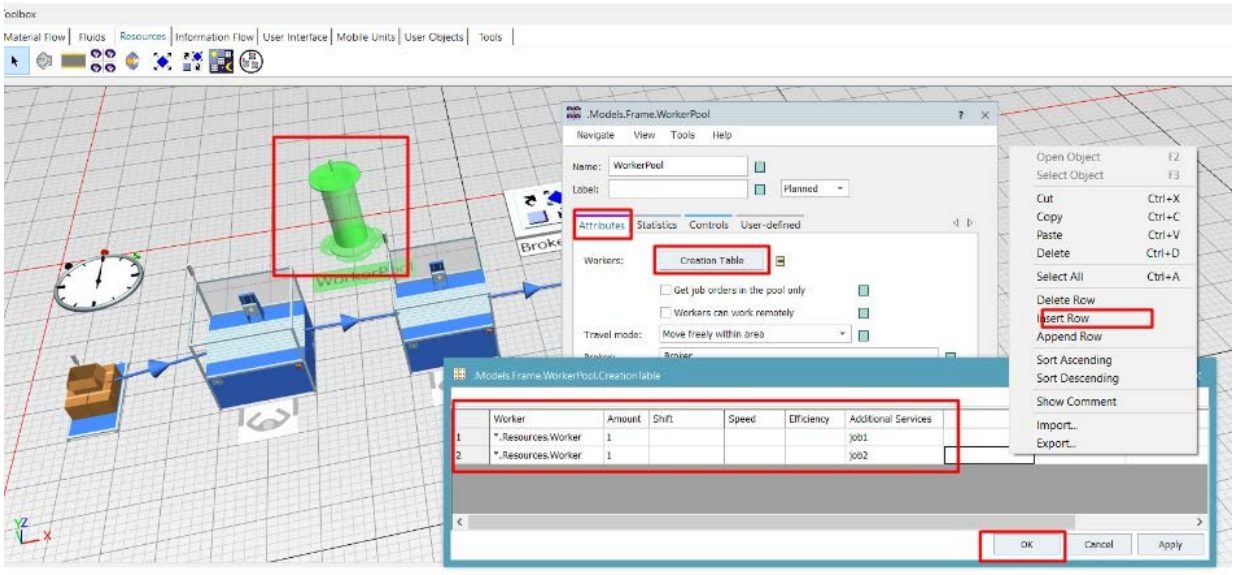


Рис. 3.83. Налаштування об'єкта "WorkerPool"

Знову запускаємо імітацію виробничого процесу. Тепер ми можемо спостерігати необхідну нам схему роботи працівників на робочих місцях (рис.3.85).

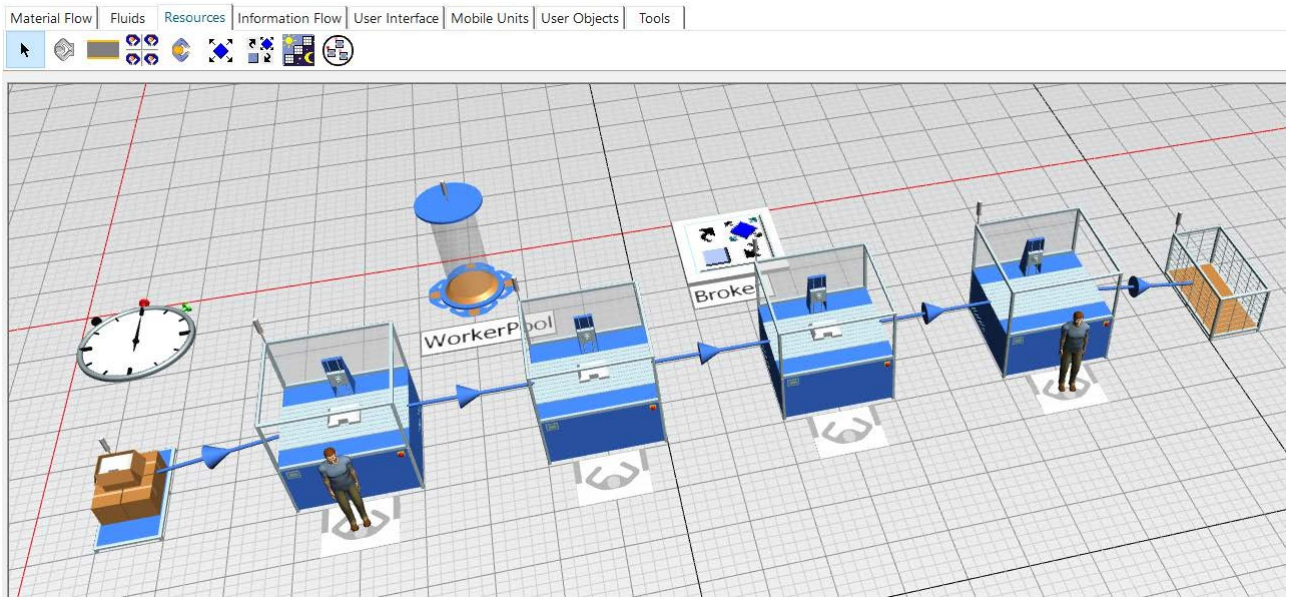


Рис. 3.85. Імітація виробничого процесу

3.9. Моделювання в режимі 3D

1. Натискаємо кнопку *«Створити нову модель»*. У діалоговому вікні можна вибрати режим, в якому Ви хочете працювати з варіантами 2D і 3D для цієї моделі. Вибираємо 3D-симуляцію плоских об'єктів, відкриваємо 3D-вікно, в якому створюємо нашу імітаційну модель.

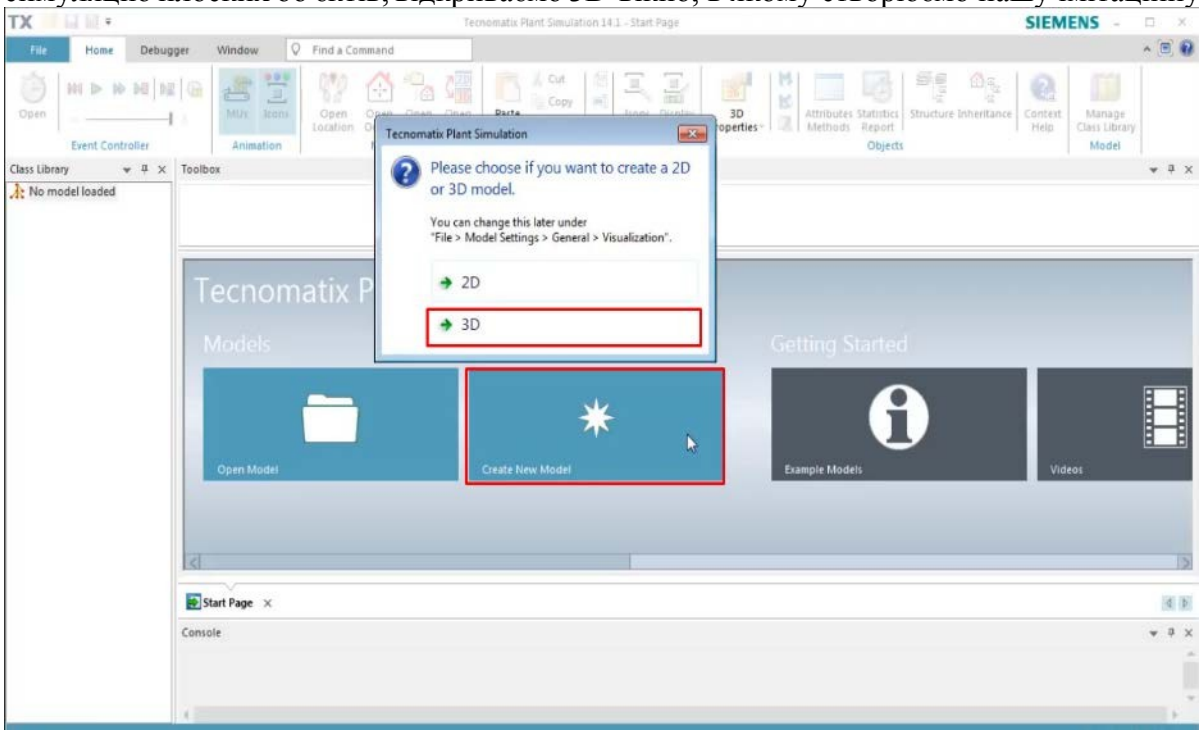


Рис 3.93 Створення нової моделі

2. Потрібно натиснути на *«Вид»* далі *«Планування Виду»* і розгорнути простір моделювання по всьому інтерфейсу, як зазначено на рис. 3.93.

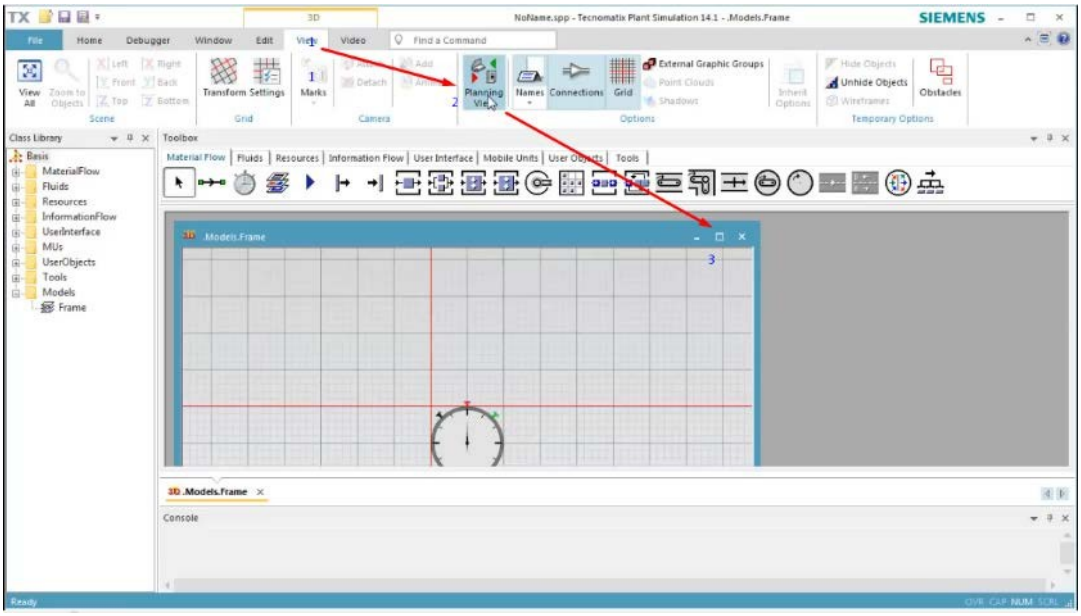


Рис. 3.94 Зміна виду

3. ¶У будь-якому місці цього ж інтерфейсу натисніть праву кнопку миші і перетягніть її в нове положення, щоб вид інтерфейсу співпадав з рис. 3.93.

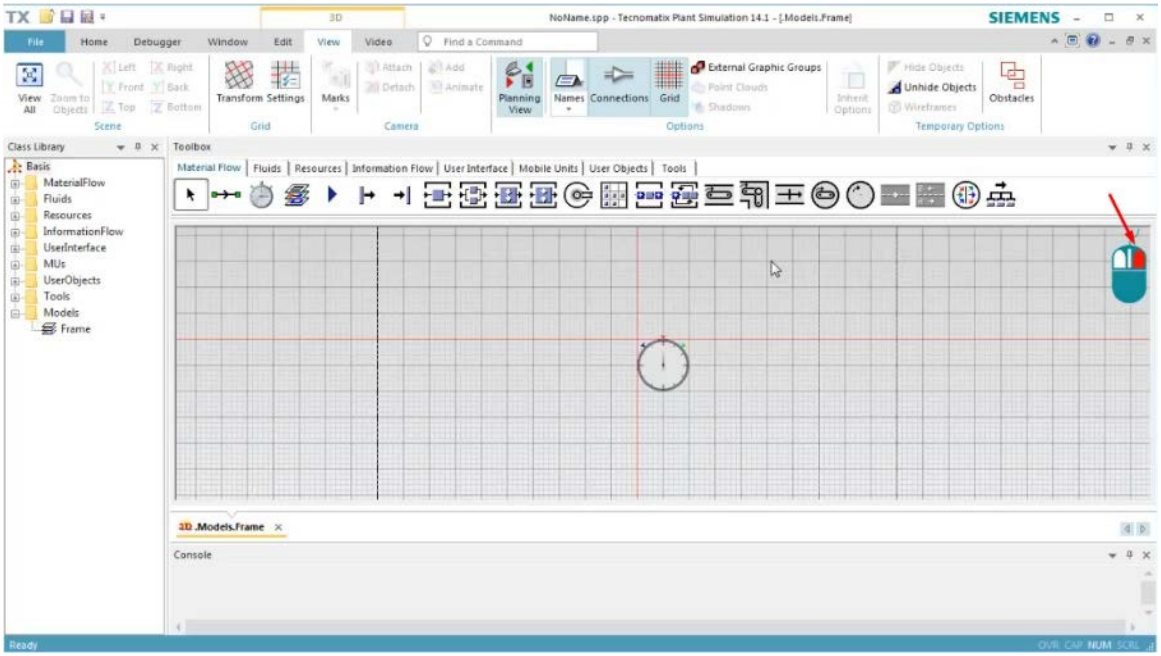


Рис. 3.94 Переміщення інтерфейсу

4. Оберіть той об’єкт, який ви хочете встановити, натисніть двічі лівою кнопкою миші, якщо Ви хочете встановити не один об’єкт, затиснувши *«Ctrl»* виберіть курсором, де хочете встановити предмет, натисніть лівою кнопкою миші, оберіть «клас» об’єкта рис.3.95.

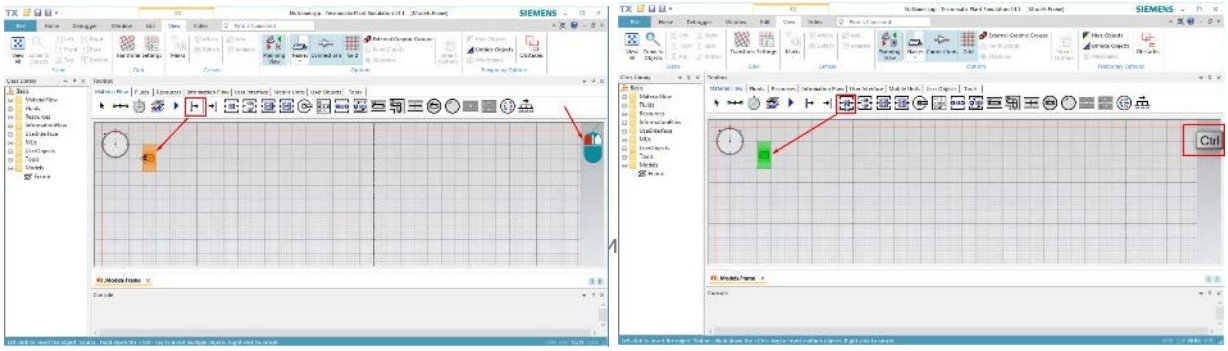


Рис. 3.95 Створення об'єкта і вибір класу

5. Вибравши останній елемент в тому ж вікні, натисніть «*Escape*» щоб завершити режим множинної вставки рис.3.96.

¶

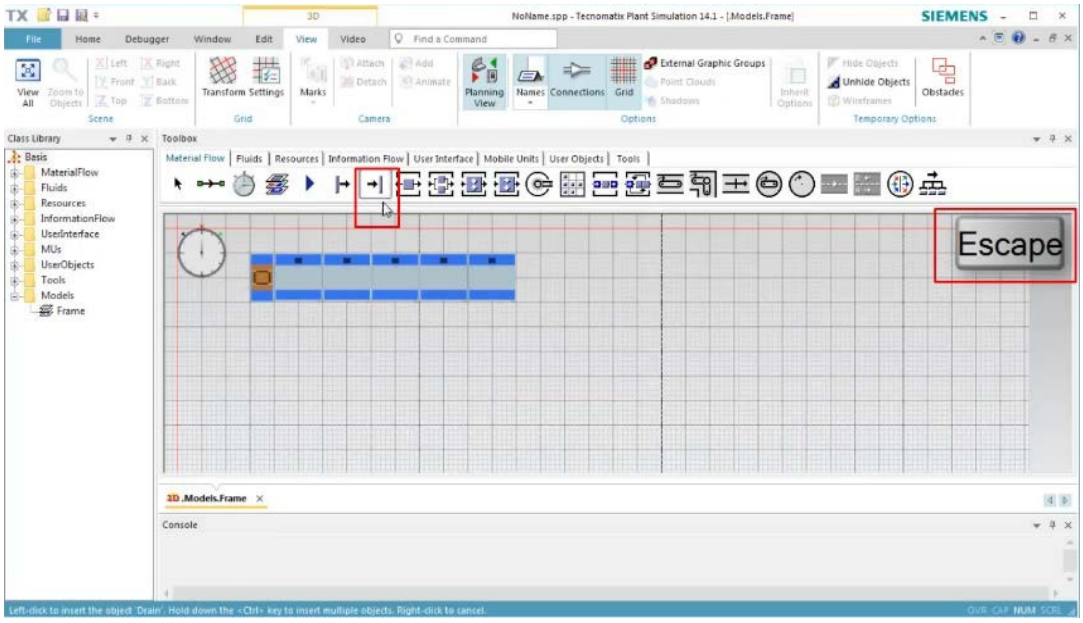


Рис 3.96 Вихід з режиму створення класу

6. Натисніть клавішу виходу або натисніть праву кнопку миші. При вставці імітації об'єкта надається два різних режиму прив'язки: прив'язка до сітки і прив'язка до об'єктів, але переміщення за замовчуванням не включається рис.3.97.

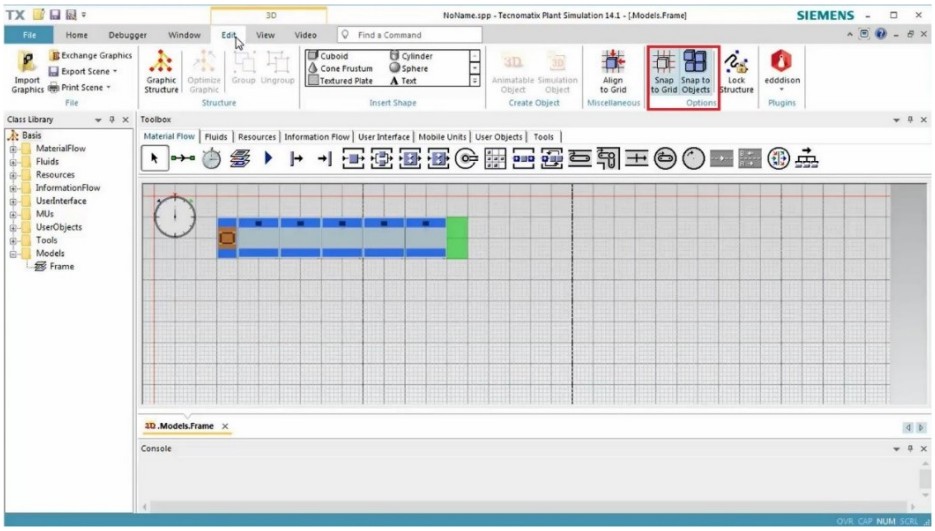


Рис. 3.97 Прив'язки за замовчуванням

Ви можете змінити режим прив'язки на вкладці *«Редагувати стрічку»*.
Рекомендується залишити обидва режими прив'язки увімкненими.

7. Для того, щоб приблизити чи віддалити об’єкти, використовуйте колесо миші. Щоб сповільнити чи пришвидшити рух приближення чи віддалення, затискайте *«Ctrl»* чи *«Shift»* відповідно рис.3.98.

¶

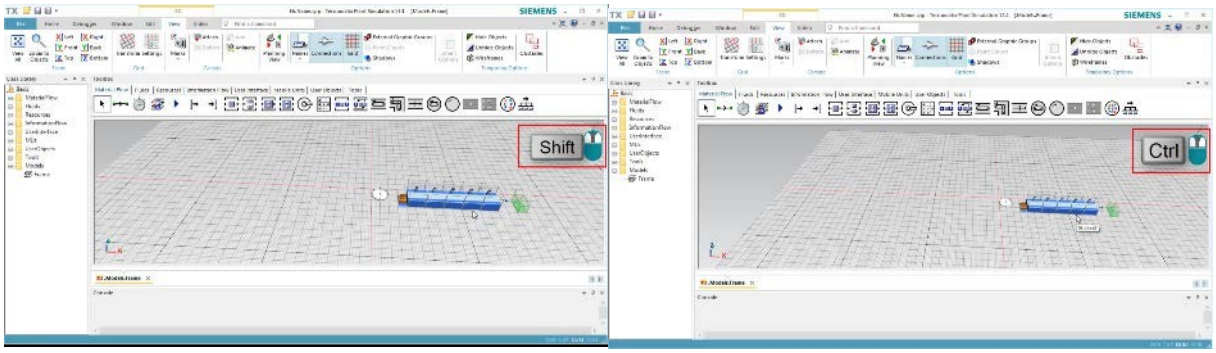


Рис. 3.98 Приближення і віддалення

8. Виділені об'єкти можна переміщати за допомогою клавіш зі стрілками, при кожному натисканні клавіш об'єкти переміщаються на 0,1 метра. Для того, щоб перемістити об’єкт на 1 метр, необхідно ще додатково затиснути клавішу *«Shift»*. Для того, щоб повернути виділені об'єкти, утримуйте клавішу *«Ctrl»* і натискайте клавіші зі стрілками *вліво* або *вправо* на клавіатурі, при цьому об'єкт буде обертатися на 1 градус. Якщо при цьому додатково натиснути клавішу *«Shift»*, об'єкт буде повертатися на 45 градусів рис.3.99.

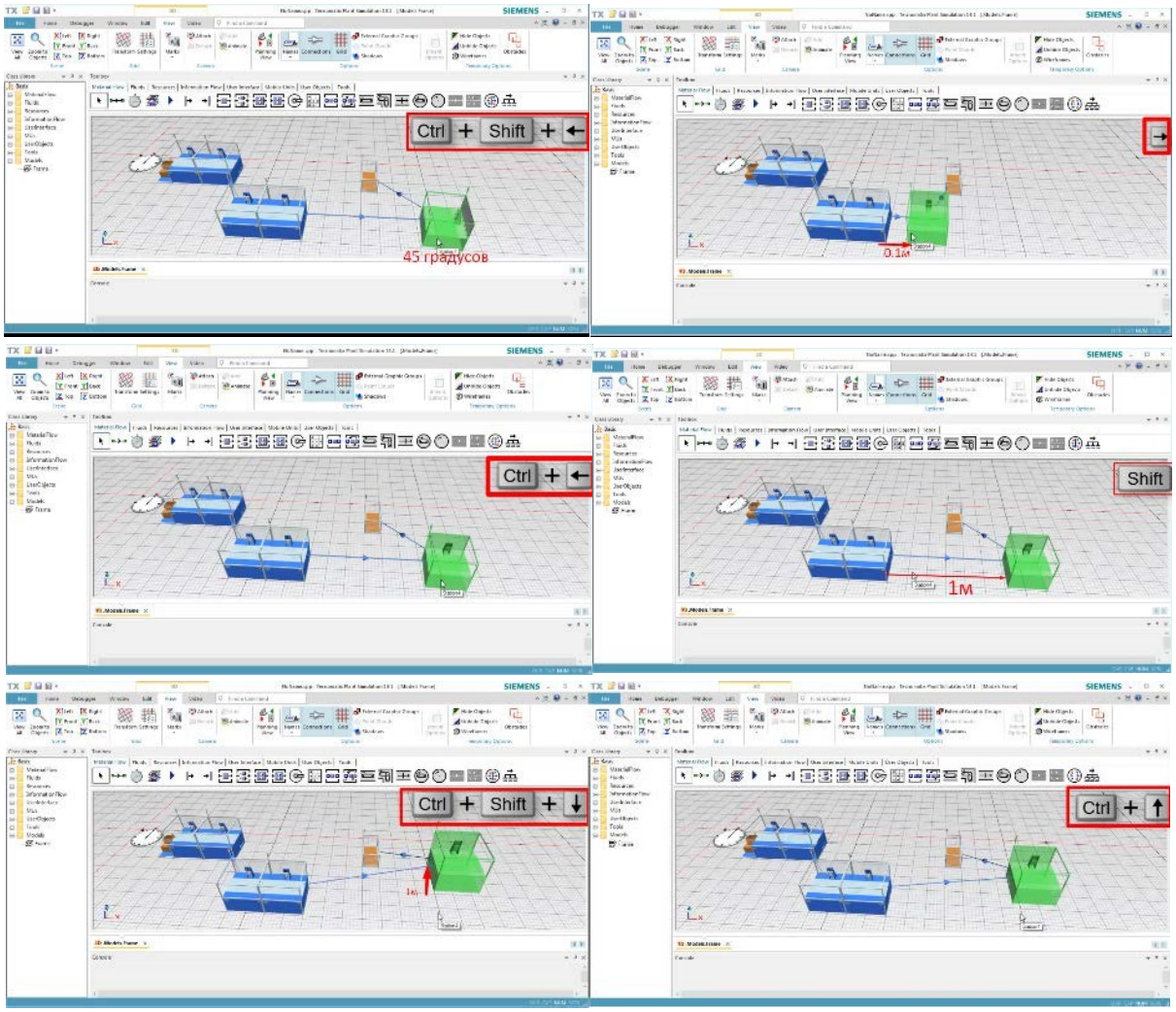


Рис. 3.99 Переміщення по осям координат

9. ¶Щоб змінити положення *Z* обраного об'єкта, утримуйте клавішу *«Ctrl»* і натискайте клавішу *вгору* або *вниз* на клавіатурі. Об’єкт при цьому рухається на 0,1 м у вертикальному напрямку. Якщо додатково затиснути клавішу *«Shift»*, об'єкт переміститься на 1 метр рис.3.100.

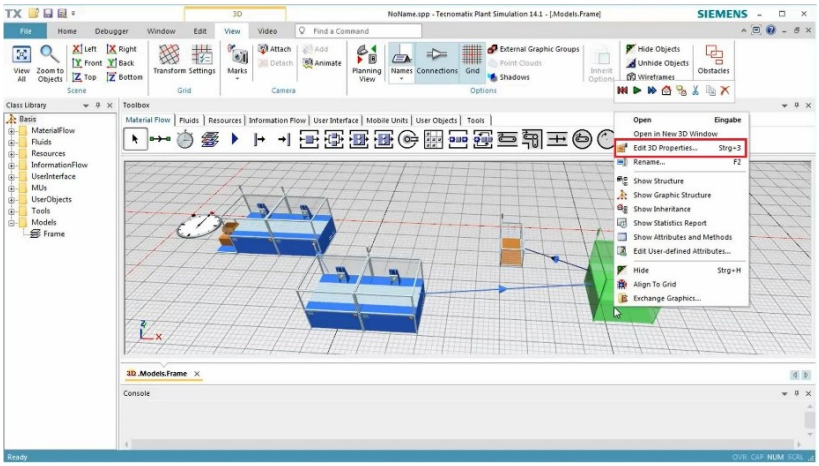


Рис. 3.100 Зміна параметрів побудови

10. Змінити параметри розташування об’єкта можна, обравши *«Редагувати 3D-властивості»* у контекстному меню об’єкта. У вікні буде вказано положення та поворот об’єкта. Ви можете змінювати дані параметри.

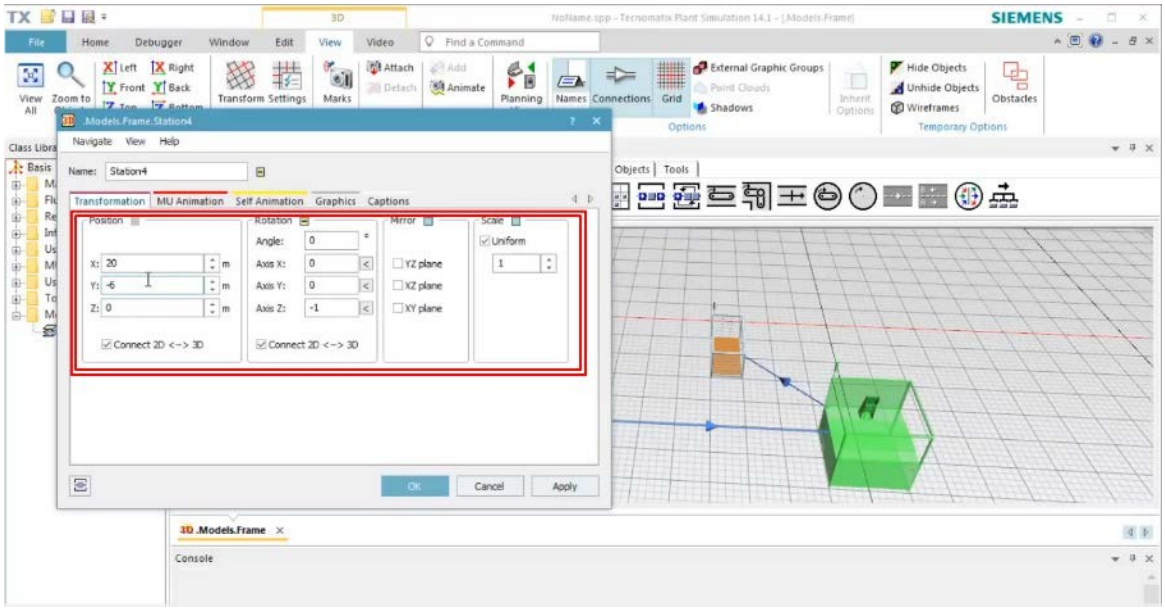


Рис. 3.101 Зміна параметрів розташування об'єкта

11. У моделюванні відображаються всі об'єкти з певною графікою, ви можете змінити графіку для кожного об'єкта окремо. Для цього потрібно натиснути на *«Редагувати графіку»* в спеціальному полі рис.3.102.

¶

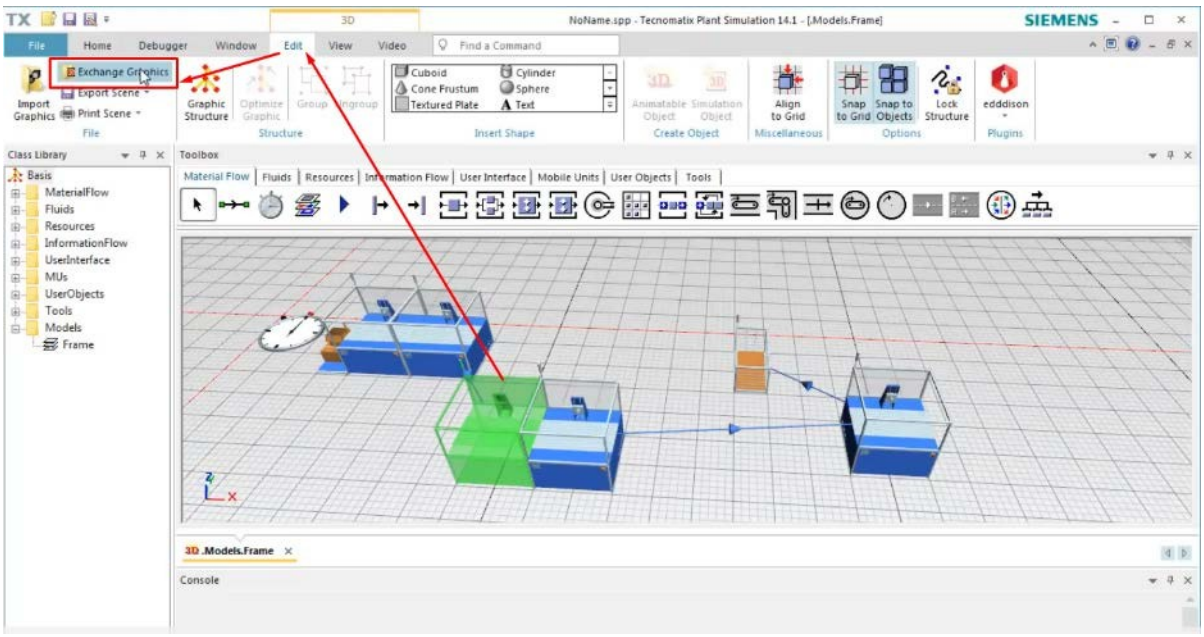


Рис 3.102 Зміни параметрів створеного об'єкта

12. У діалоговому вікні виберіть один з файлів 3D, який вам підходить, та натисніть двічі.

3D-файли містять не тільки графіку, але і налаштування анімації об'єкта.

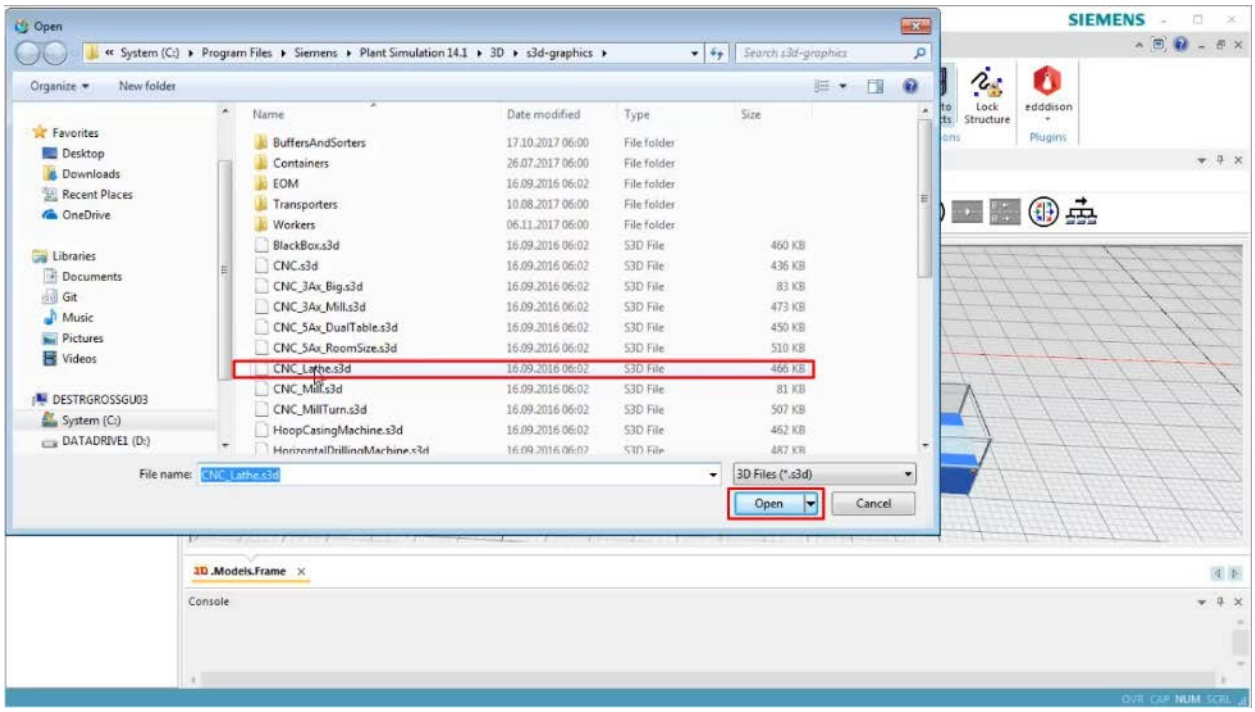


Рис. 3.103 Відкривання файлу для зміни графіки об’єкта

13. Натисніть *«Редагувати 3D-властивості»*, перейдіть до заголовків вкладок і встановіть прапорець *«Ім'я»*, увімкнений тут рис.3.103.

¶

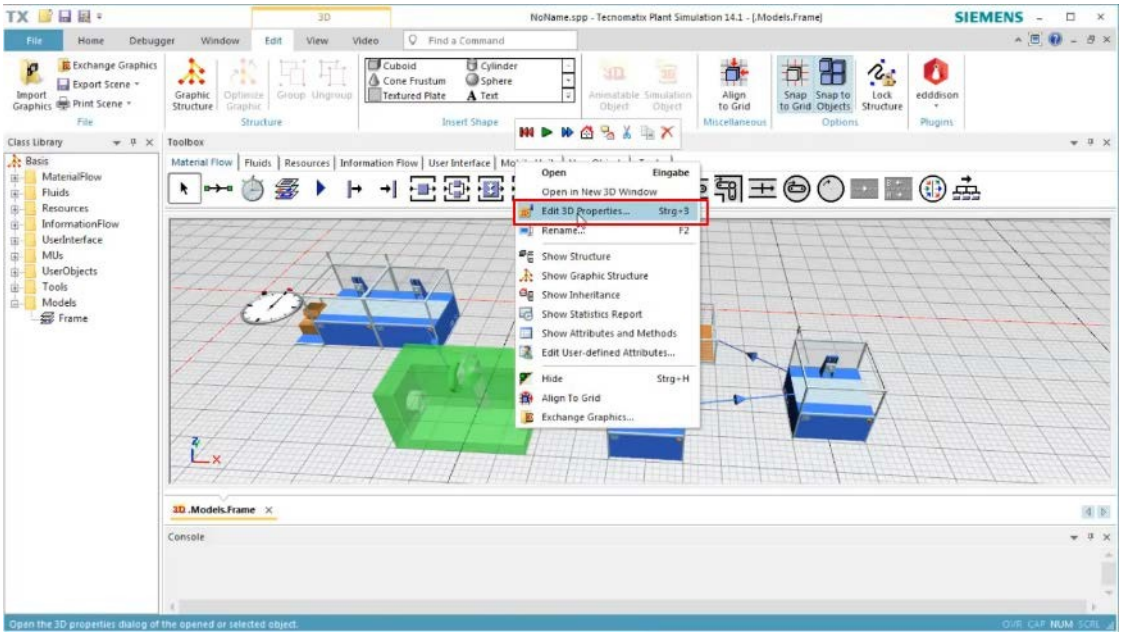


Рис.3.104 Зміна назви об'єкта

14. Ви можете включити або відключити видимість імені об'єкта і ярлика. Якщо ви хочете передати ім'я об'єкта для всіх станцій, відкрийте контекстне меню для об'єкта класу в наборі інструментів і виберіть
«Редагувати властивості 3D» Рис. 3.105.

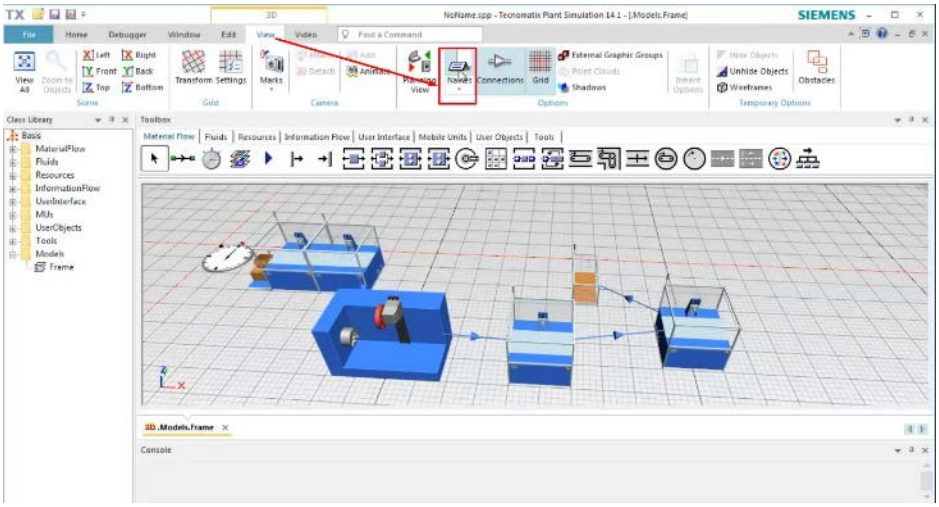


Рис. 3.105 Зміна назви об'єкта через стрічку

Змініть заголовки, увімкніть або вимкніть видимість імені і мітки для класу. Для всіх екземплярів цього класу, які успадковують це значення, і вид вкладки *«Стрічка»*, бачимо увімкнення і вимкнення видимості імен на ярликах, тому використовується імітаційна модель у наступній лабораторній роботі.
Після виконання роботи збережіть файл.

3D: анімовані об’єкти

У дереві «*Class Library*» відкриваємо папку «*UserObjects*» та натискаємо двічі лівою кнопкою миші для переходу. Додаємо «*Station*» і два «*Interface*», послідовно з’єднуючи їх за допомогою «*Connector*» (Рис.3.162).

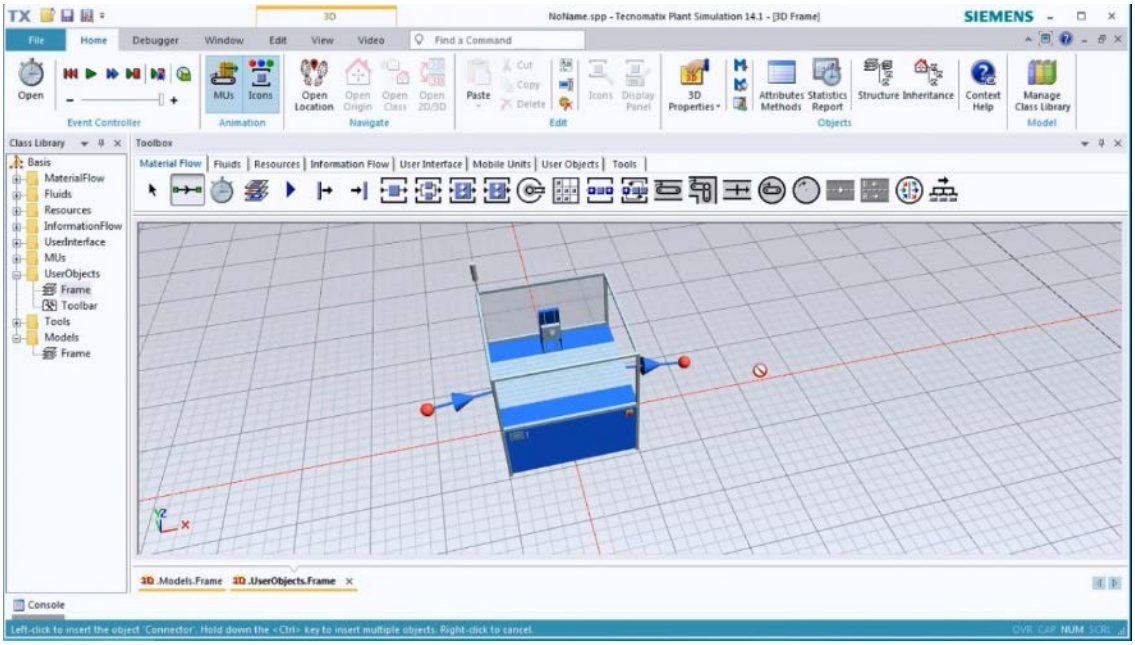


Рис.3.162 Виробнича дільниця зі «Station» та «Interface»

Як можна помітити, на станції розташований «*ToolHolder*». Саме йому ми і надаємо анімацію переміщення: ліворуч, праворуч і до центру. Для цього правою кнопкою миші натискаємо на «*Station*» і обираємо пункт «*Open*» in
«*New 3D Window*» на рис 3.163. У новому вікні маємо можливість окремо вибрати «*ToolHolder*».

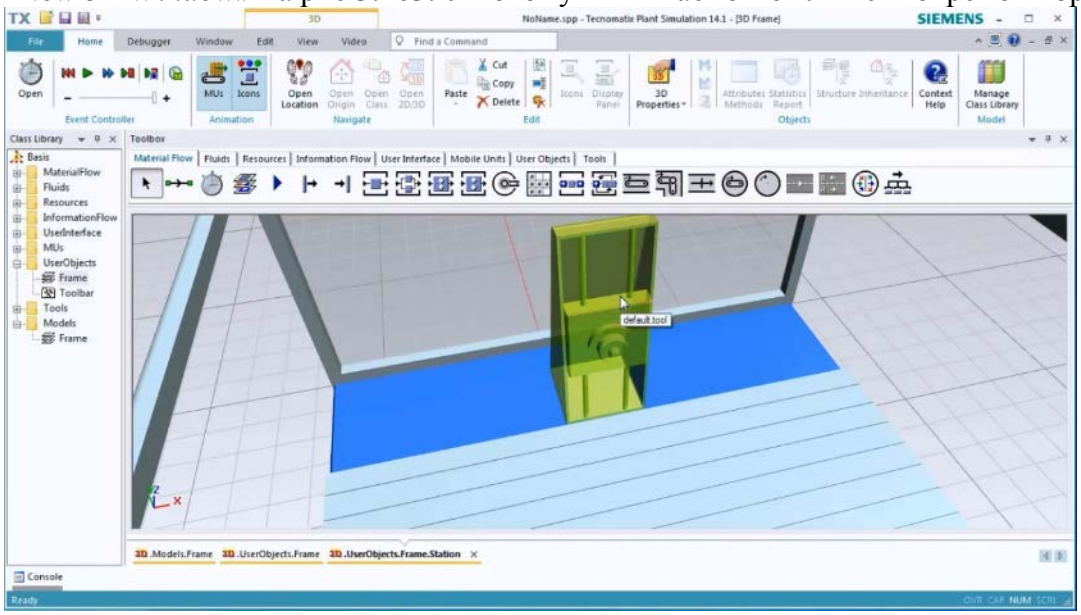


Рис. 3.163 «ToolHolder» – об'єкт, який будемо анімувати

¶Натискаємо правою кнопкою миші на «*ToolHolder*» і обираємо пункт
«*Make Animatable Object*», тобто робимо об'єкт анімованим. Далі, задаємо назву і початкове положення нашого об'єкта і натискаємо «*OK*» (Рис. 3.164).

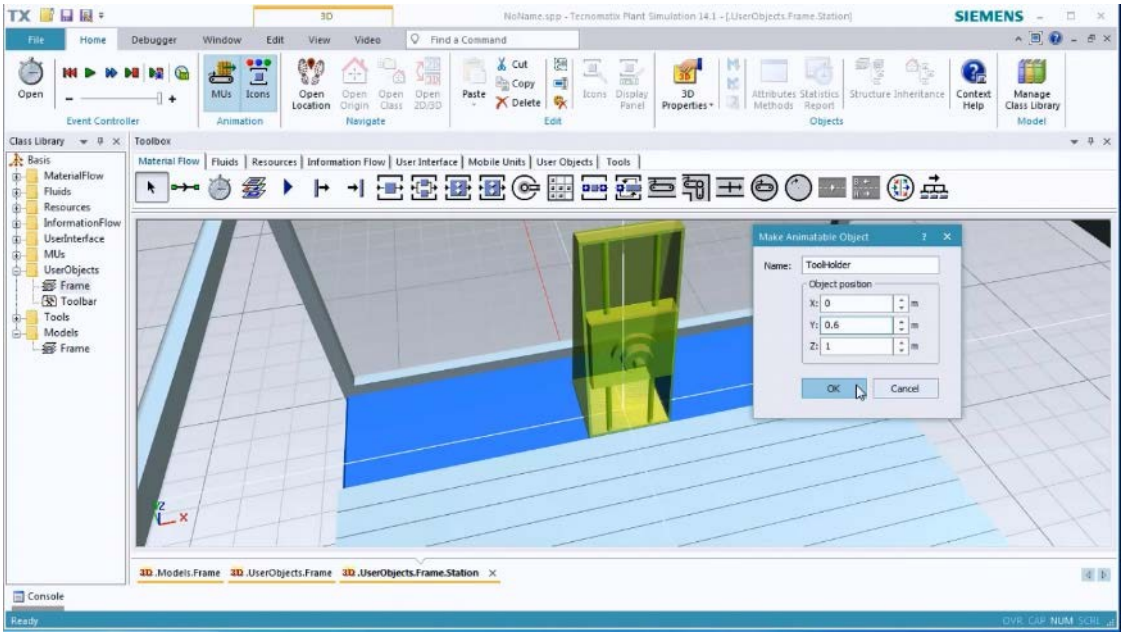


Рис. 3.164 Меню при натисканні правою кнопки миші

Задаємо маршрут руху в просторі координатами. Для цього: натискаємо правою кнопкою миші на наш об'єкт – «*Edit 3D Properties – Self Animation*».

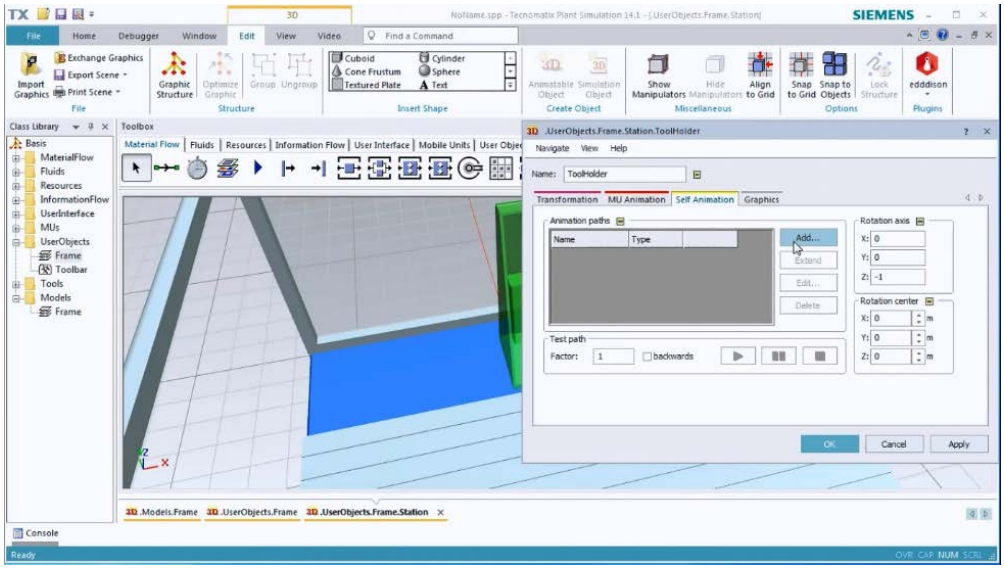


Рис. 3.165 Меню для задання маршруту по координатах

У цьому меню натискаємо на кнопку «*Add*». Додаємо три послідовні переміщення нашого об'єкта (задаються вони шляхом задання двох координат – початку і кінця, а також часу):

¶Перше – ліворуч (*Left*). Ми маємо початкову координату, необхідно вказати кінцеву, для цього: натискаємо «*Edit*», в новому меню натискаємо «*Add*», а потім «*Edit Values*».

Задаємо переміщення по осі X «– 0,8» м і час – «1» с, після чого двічі натискаємо «*OK*» (*Рис. 3.166*).

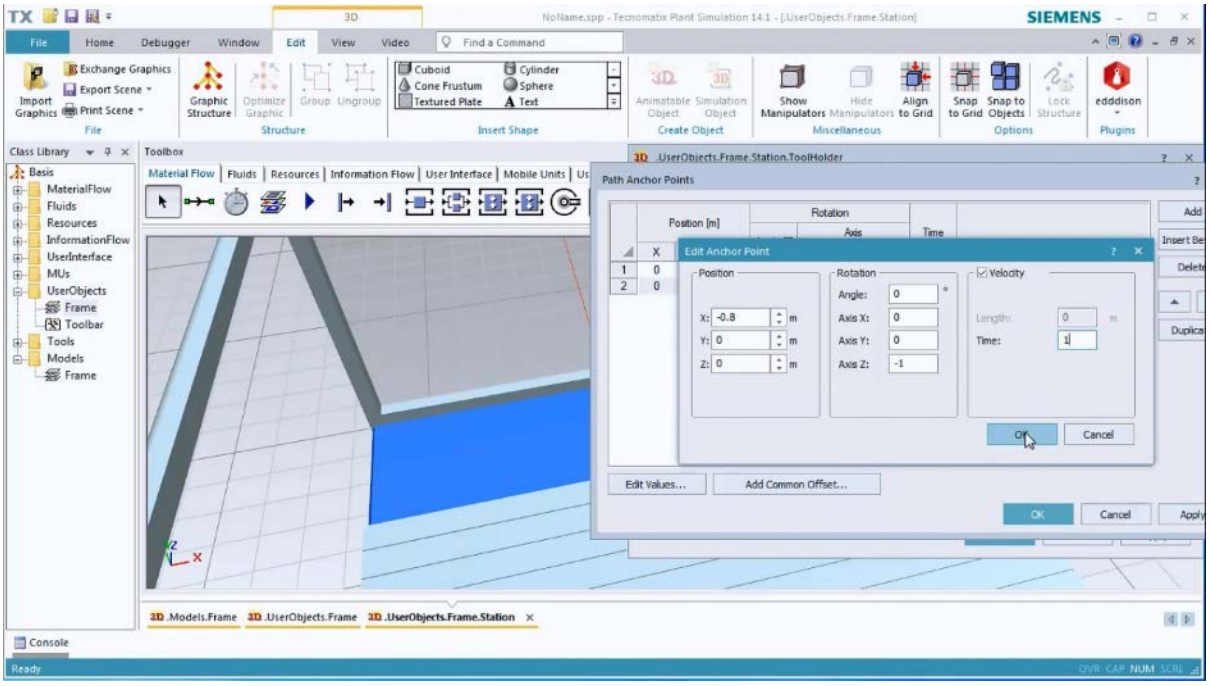


Рис. 3.166 Задання маршруту для руху ліворуч

Перевірити анімацію можна, натиснувши *«Play»*.
Друге переміщення – праворуч (*Right*). Задається у два кроки, спочатку вказуємо початкову координату, тобто кінцеву при переміщенні ліворуч, потім кінцеву вже при очікуваному переміщенні праворуч. По осі X – 0.8 м та 0 м відповідно, а також час – 20с.
¶

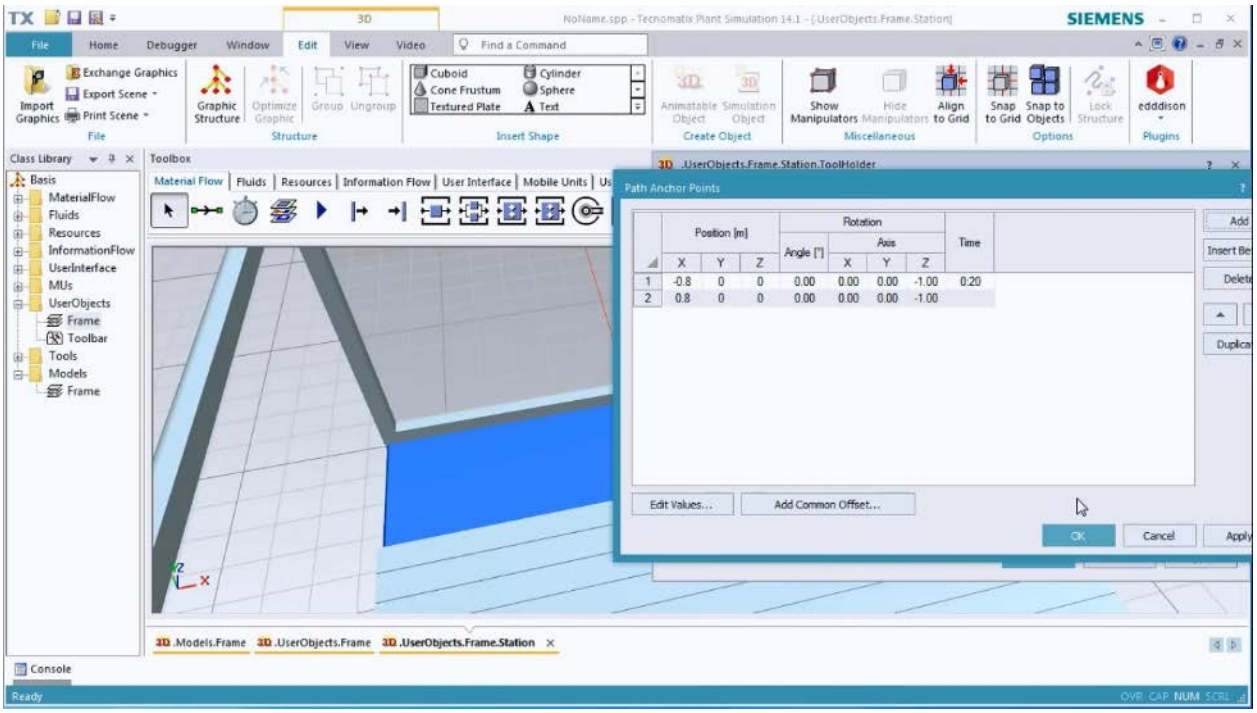


Рис. 3.167 Задання маршруту для руху праворуч

І останнє, третє, переміщення до центру (*Middle*). Виконується все по аналогії з попередніми, початкова координата – кінцева для другого, а кінцева – це власне повернення в початкове положення, тобто в 0 по координаті X, за час – 1 с.

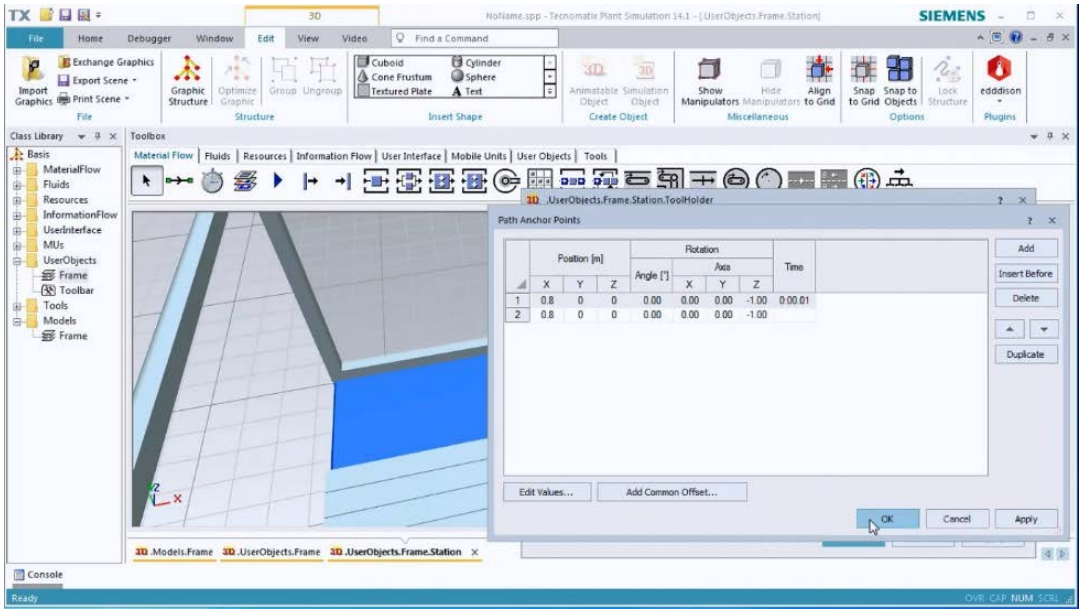


Рис. 3.168 Задання маршруту для повернення в початкову точку

Після задання координат натискаємо «*OK*» у вікні, і закриваємо вкладку «*UserObject*»-«*Frame.Station*».
Повернувшись у вкладку нашої станції, додаємо «*Method*» з меню «*Toolbox – Information Flow*». Подвійним натисканням лівої кнопки миші ¶переходимо в меню редагування параметрів і змінюємо ім'я на «*onEntrance*» і натискаємо «*OK*» рис.3.169.

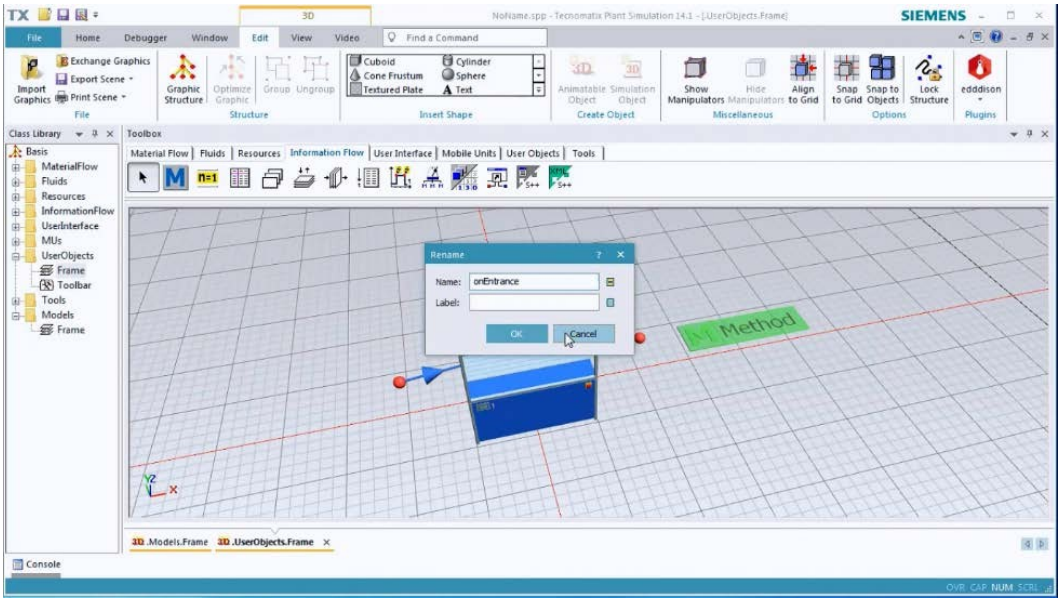


Рис. 3.169 Задання імені для «Method»

Далі подвійним натисканням лівої кнопки миші на станцію, відкривається меню редагування її параметрів. У вкладці Times змінюємо наступні параметри рис.3.170:
Processing time: 0:22sec. (1 с. ліворуч, 20 с. праворуч і 1с. в центр)
Recovery time: 5sec.
Recovery time starts: When part exits

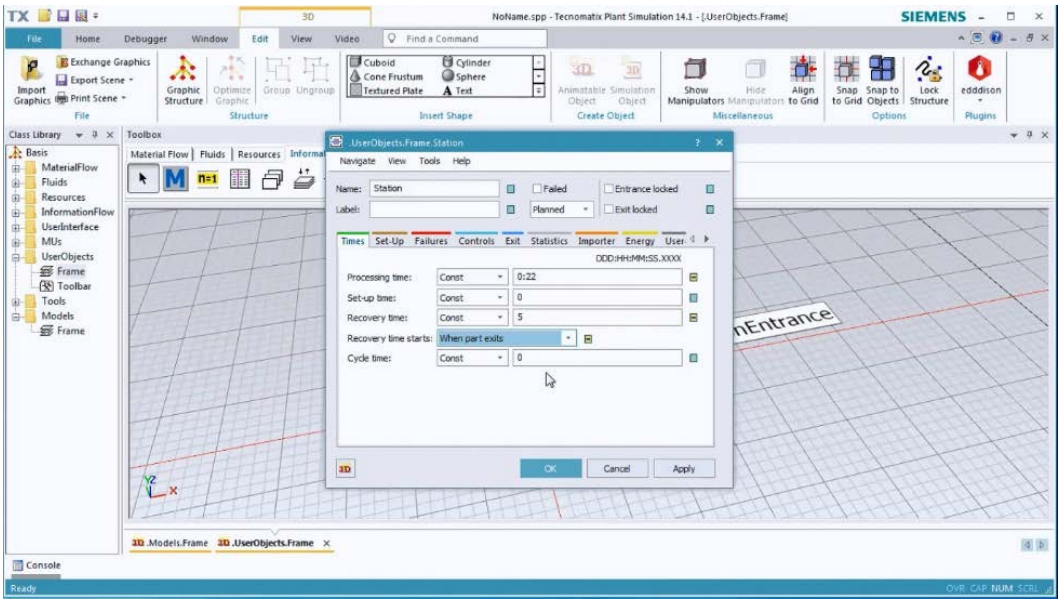


Рис. 3.170 Меню задання часу для станції

Переходимо до вкладки «*Controls*» і в поле «*Entrance*» задаємо раніше доданий «*onEntrance*», натискаємо «*OK*».

¶

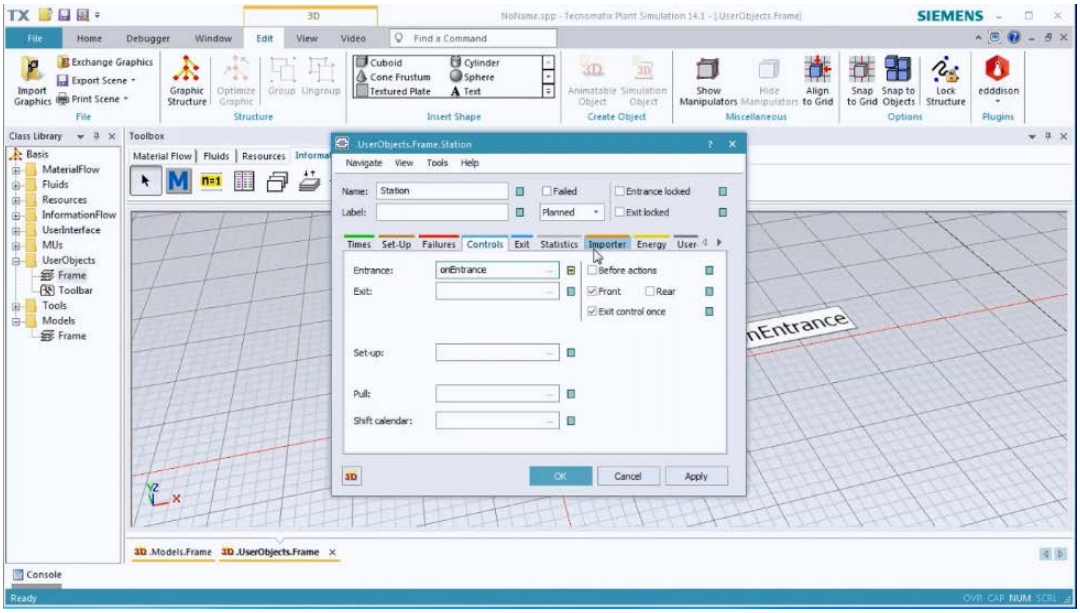


Рис. 3.171 Підключення «onEntrance»

Подвійним натисканням лівої кнопки миші по «*onEntrance*» відкриваємо поле для написання коду, який, власне, і запускатиме в дію нашу анімацію. Виглядатиме він наступним чином:

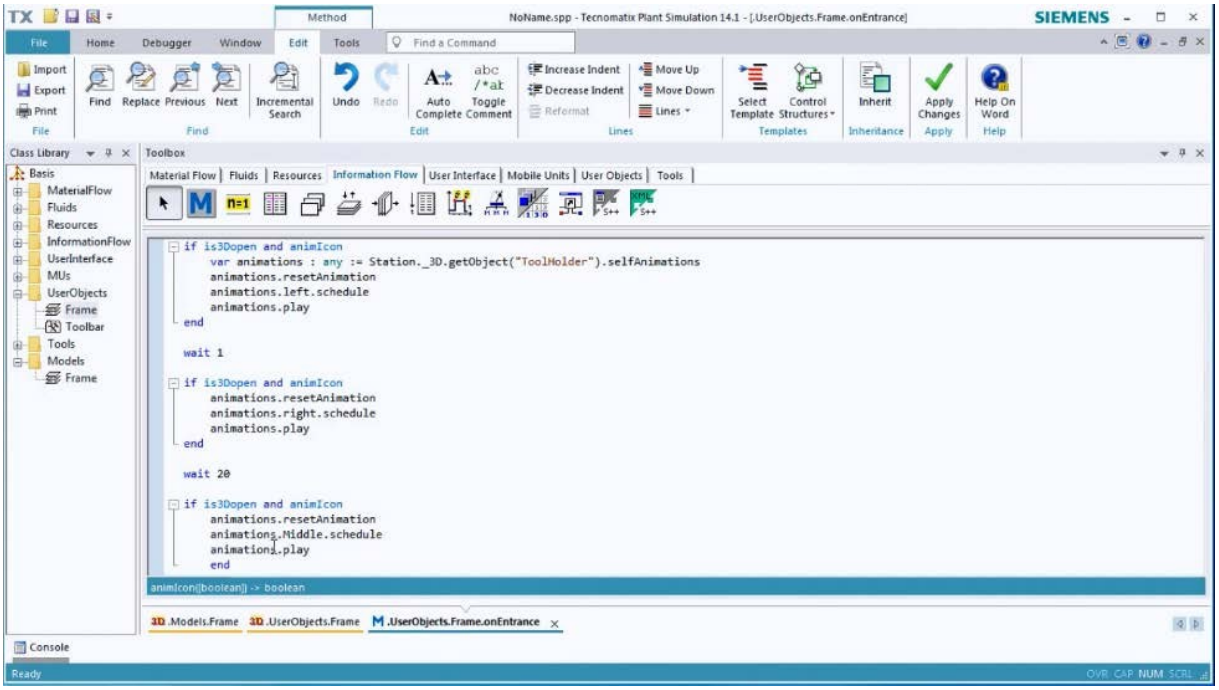


Рис. 3.172 Вікно написання коду

Тепер станція з анімованим об’єктом готова і доступна в бібліотеці. Назвемо її «*MyStation»* рис .3.173.

¶

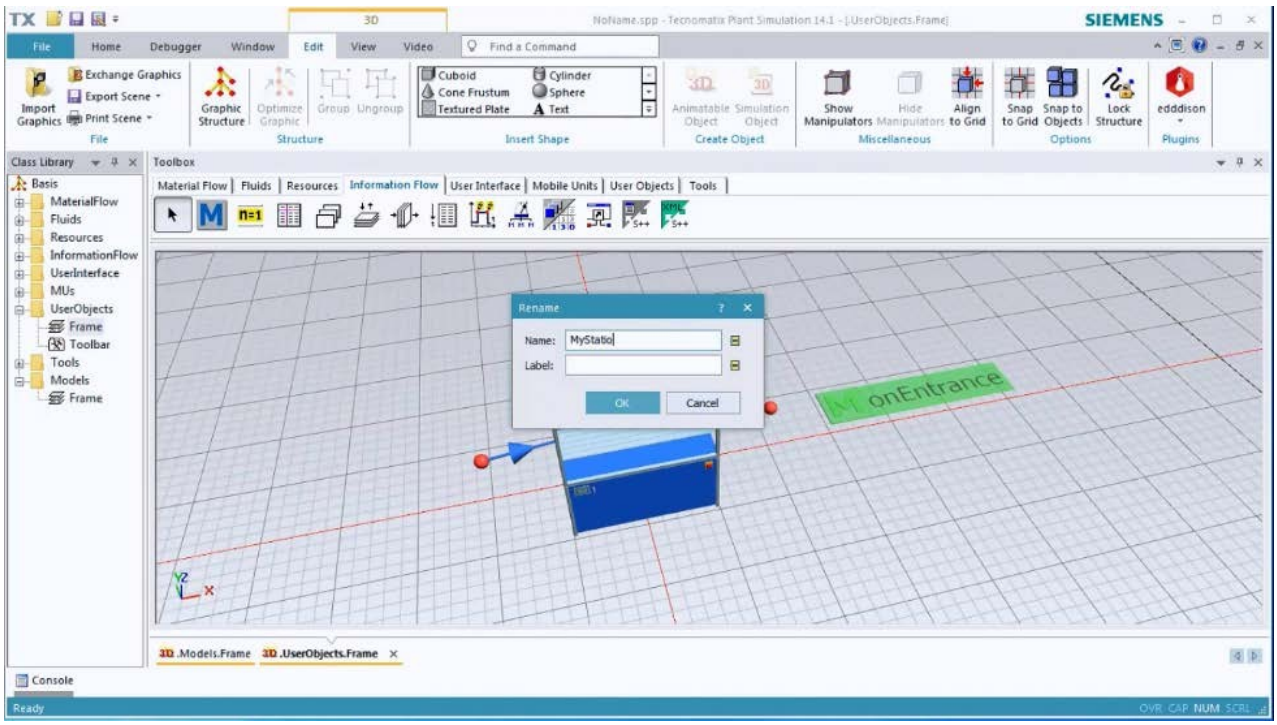


Рис. 3.173 Задання імені станції

Також слід перевірити у вкладці «*Graphics»* відсутність галочок навпроти пунктів «*default»* і *«deco»* і наявність навпроти «*Show content»* (Рис. 3.174). Для цього натискаємо правою кнопкою миші на станції та відкриваємо пункт «*Edit 3D Properties».*

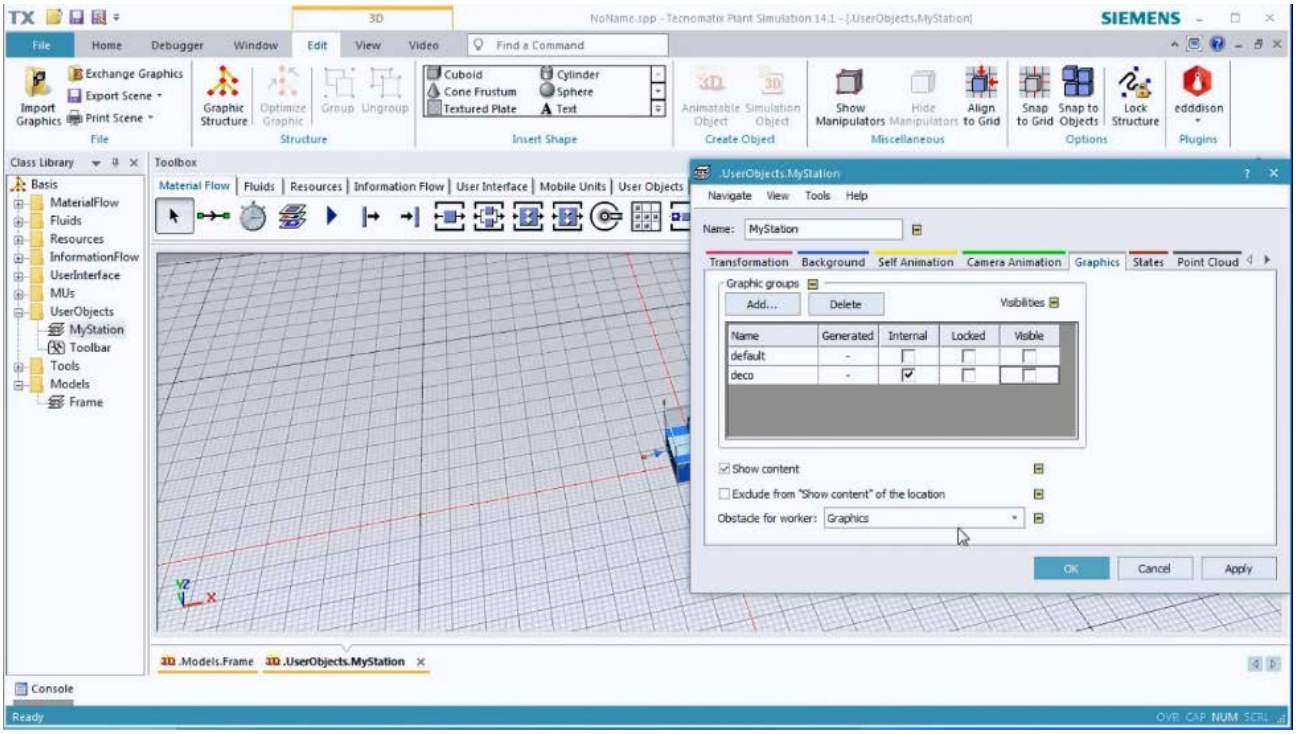


Рис. 3.174 Вкладка «Graphics» пункту «Edit 3D Properties»

3.10. Екпериментальні дослідження в менеджері з дослідів у середовищі Siemens Tecnomatix Plant Simulation

Створюємо нову модель, натиснувши «*Create New Model»,* та обираємо *3D* (рис. 3.223).

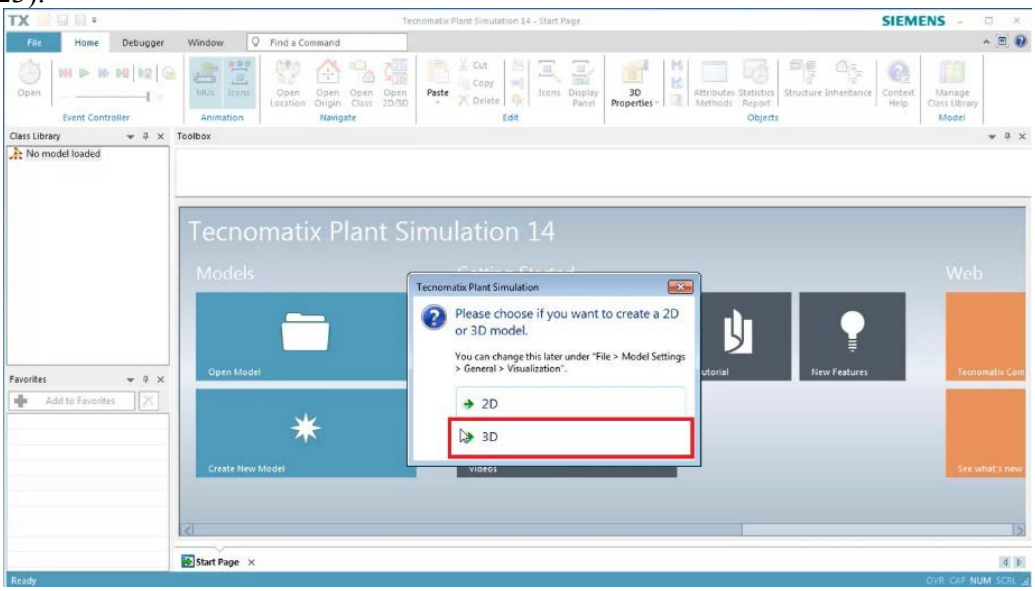


Рис. 3.223 Створення нової моделі

Приєднуємо «Джерело (Sourse)» до основної та до проміжної станції. З'єднуємо всі елементи моделі (рис. 3. 224)

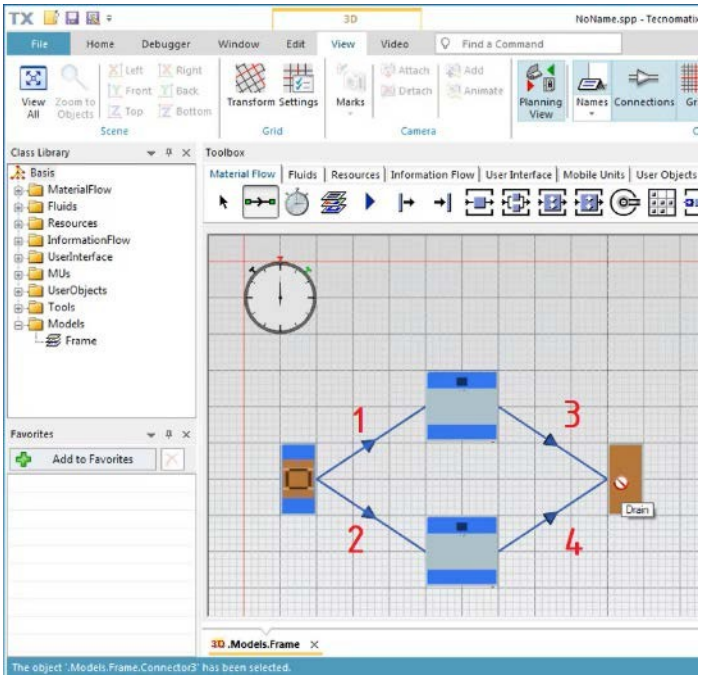


Рис. 3.224 Розташування верстатів та побудова ланцюгів

¶Налаштовуємо вихідні параметри об'єкту *«Джерело» («Sourse»)*. Для цього вибираємо його подвійним натисканням клавіши ЛКМ та переходимо до вкладки *«Вихід» («Exit»)*, обираємо стратегію виходу *«Начать с 1-го последователя»* (рис. 3. 225).

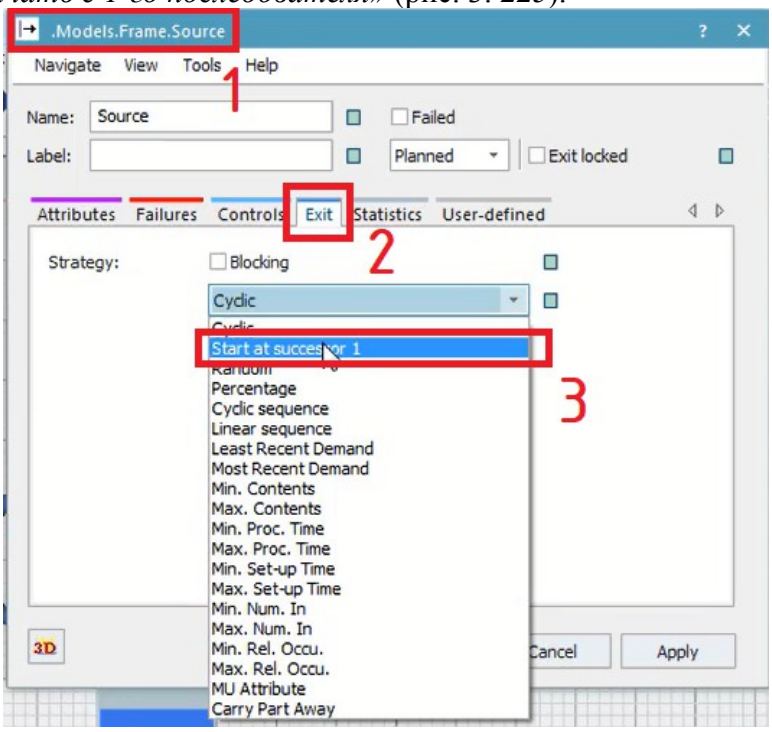


Рис. 3.225 Налаштування виходу заготовок

Для імітації збоїв у роботі основного верстату у параметрах станції переходимо до вкладки *«Сбои» («Failure»)* та приймаємо значення за замовчуванням (рис. 3.226).

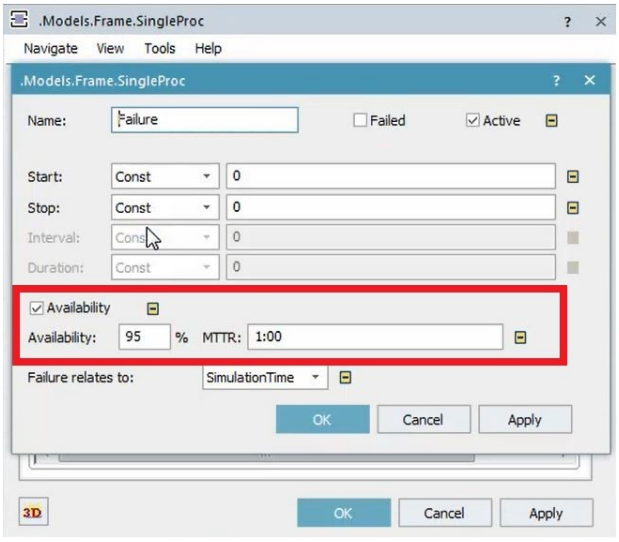


Рис. 3.226 Налаштування відсотку збоїв першої станції

¶Для завершення моделювання через певний проміжок часу, відкриваємо діалог контролера подій, перевіряємо вкладку з налаштуваннями і тип часу проходження (рис. 3.227).

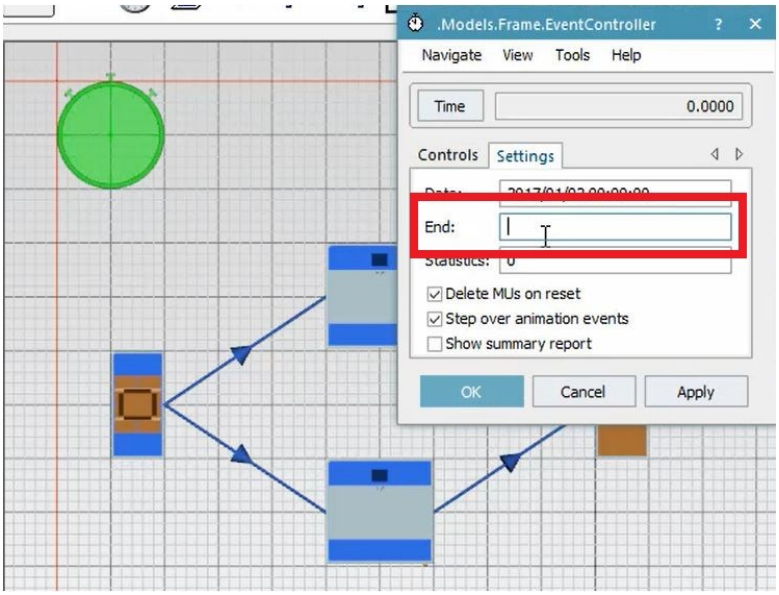


Рис. 3.227 Налаштування контроллера на відключення симуляції через певний проміжок часу

Додаємо експеримент в диспетчері імітаційної моделі. Ви знайдете менеджер у вкладках інструменту на панелі з інструментами. Відкрийте його і налаштуйте експеримент (рис. 3.228).

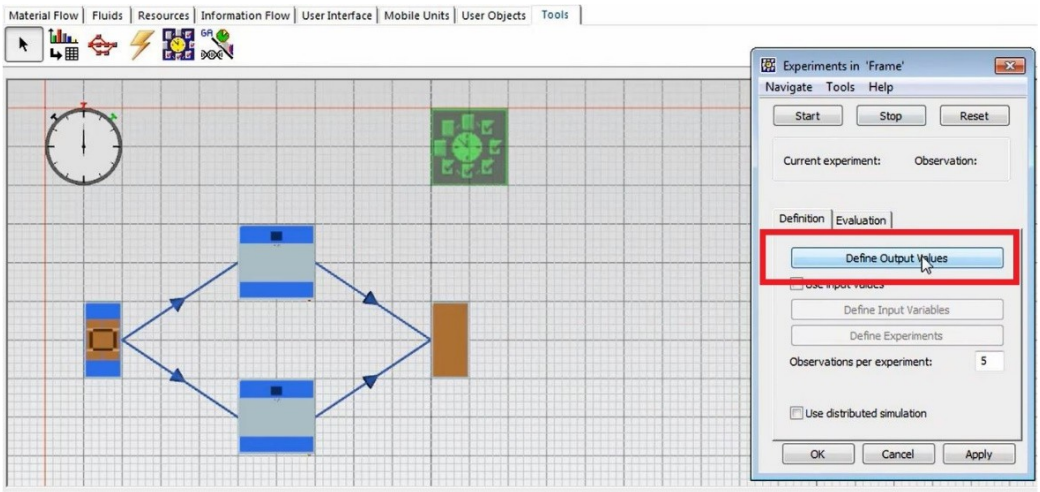


Рис. 3.229 Створення експерименту

Вказуємо вихідні значення для імітаційного дослідження. Переміщаємо допоміжну станцію в перший рядок таблиці, а основну – у другий рядок таблиці експерименту (рис. 3.230).
¶

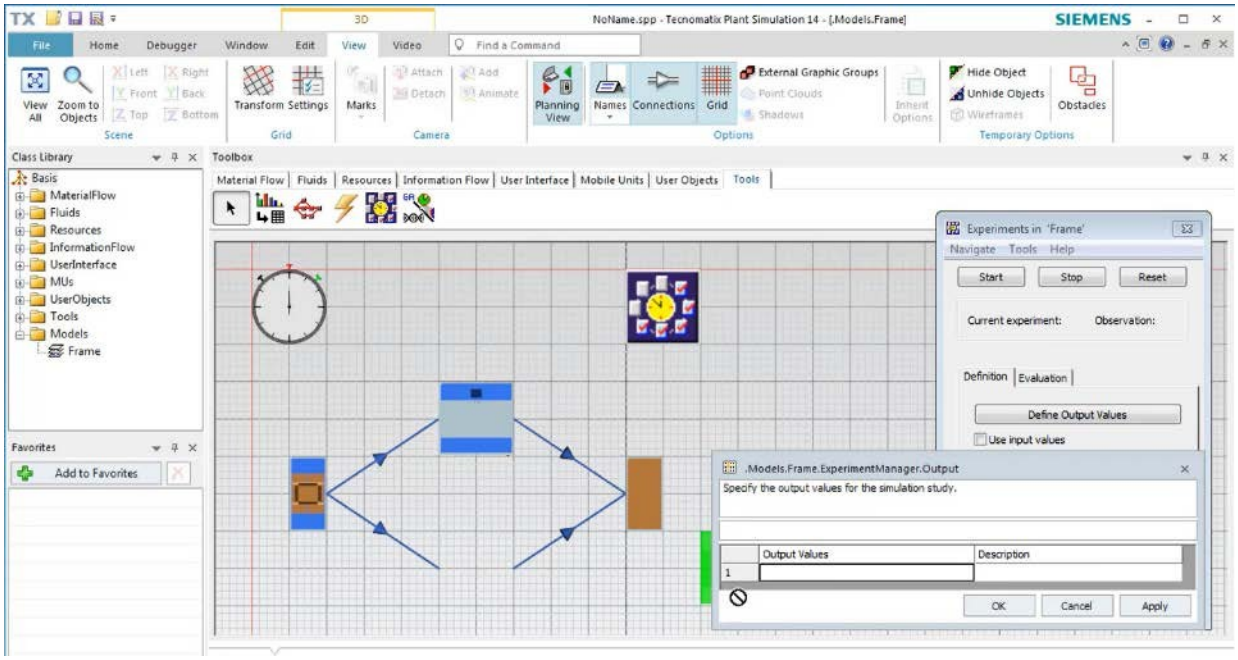


Рис. 3.230 Встановлення параметрів експерименту

Вводимо необхідні параметри у відповідні чарунки таблиці та натискаємо *«Подтвердить» («Apply»)* (рис. 3.231).

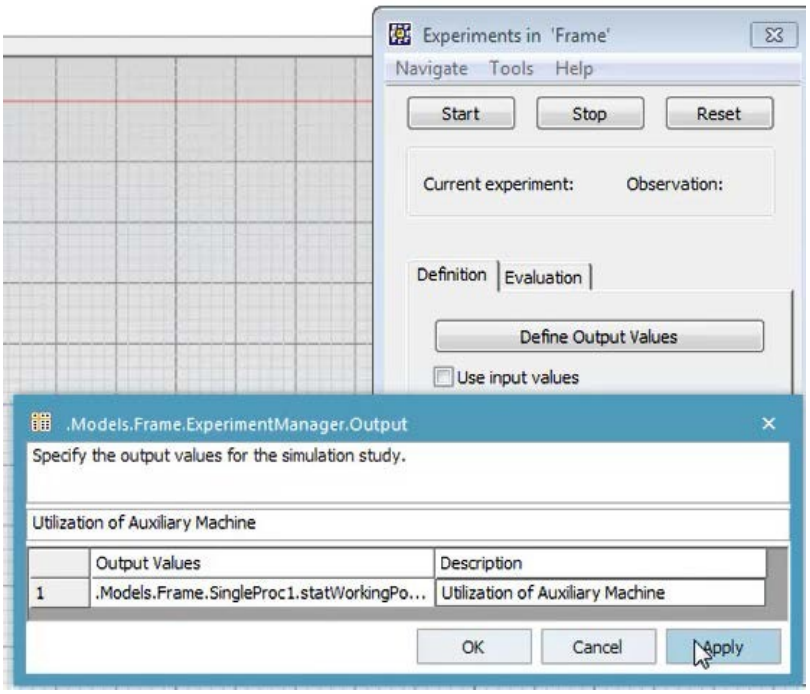


Рис. 3.231 Запуск першої перевірки

Менеджер досліду виконує 5 симуляцій з різними результатами, пов'язаних із збоями в роботі першої станції.
Після завершення симуляції отримуємо звіт статистики вихідних значень та графік, на якому вказані мінімальні і максимальні значення
¶коливань, які часто розглядаються для простої оцінки і дають більш детальну оцінку відхилення

(рис. 3.232).

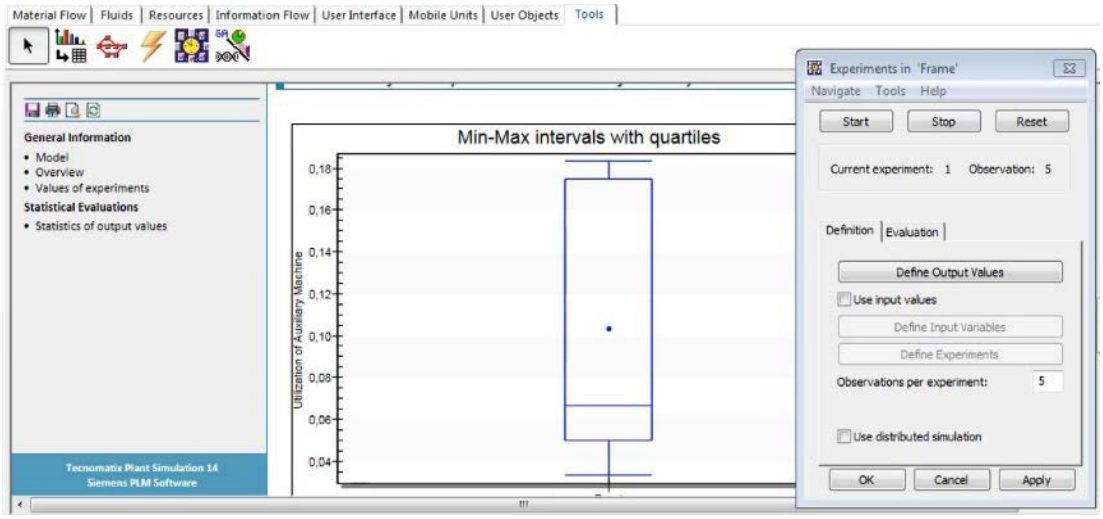


Рис. 3.232 Звіт експерименту

На вкладинці *«Assessment»* менеджера досліда обираємо *«Detailed Results»*, щоб відкрити таблицю з числовими результатами (рис. 3.233).

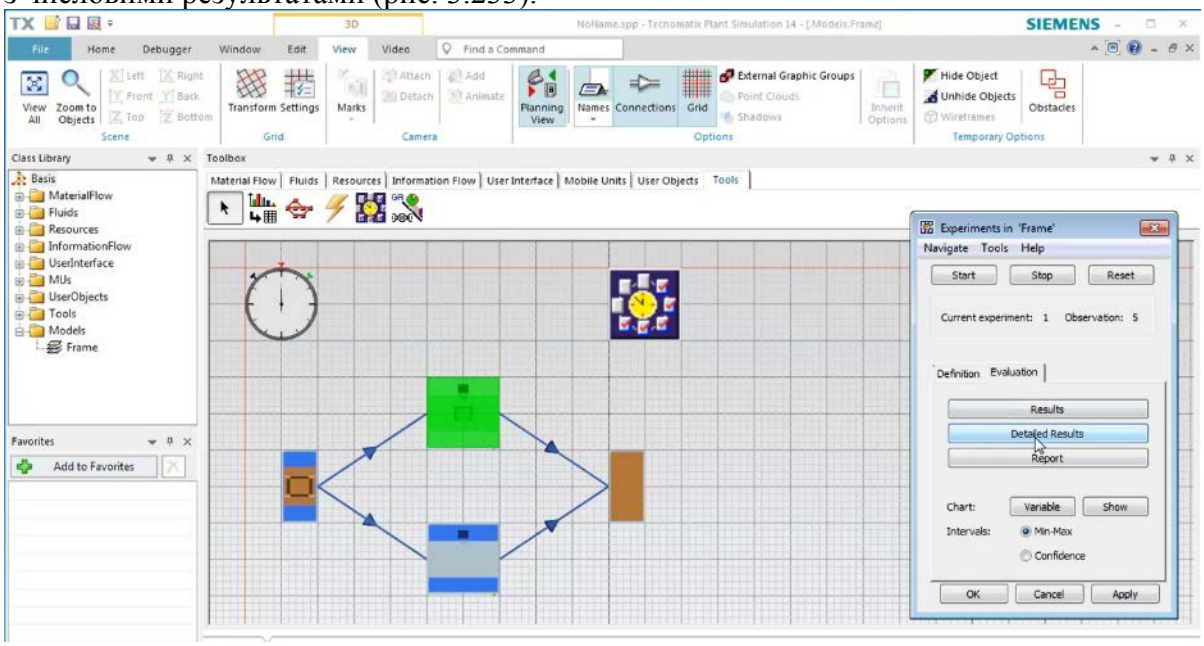


Рис. 3.233 Вибір числової форми стандартних відхилень

Типові статистичні значення, такі як середнє значення і стандартне відхилення, відображаються в числовій формі, точність середнього значення дорівнює описаним довірчим інтервалам. Пам'ятайте, що за результатами даного експерименту можна зробити тільки припущення про стохастичну модель із заданим парним рівнем достовірності (рис. 3.234).

¶

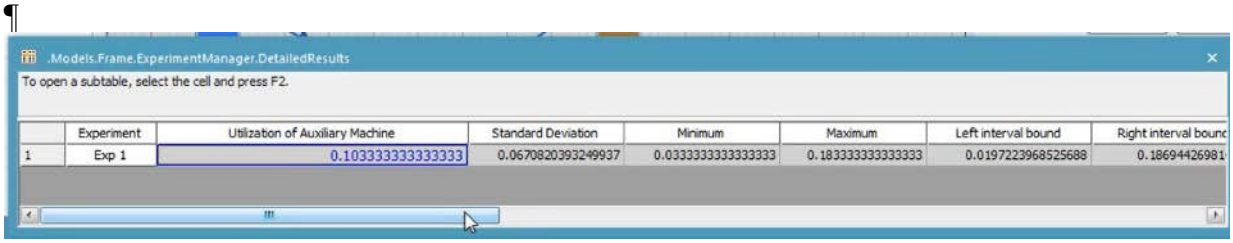


Рис. 3.234 Статистичний аналіз результатів

Рівень достовірності результатів говорить про те, з якою ймовірністю істинне середнє значення знаходиться в межах ймовірності інтервалу за замовчуванням, значення рівня збоїв управління становить 95%.

Для перевірки впливу доступності основної станції та використання допоміжної в менеджері дослідів обираємо *«Use input values»* (рис. 3.235).

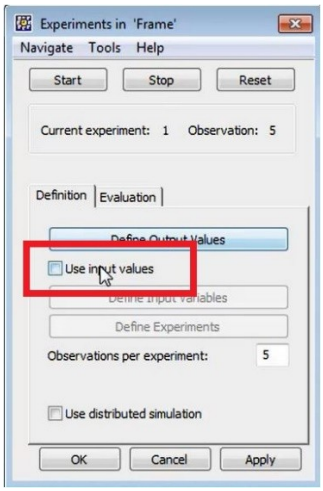


Рис. 3.235 Вибір вхідних значень змінних

Це дозволить вводити вхідні значення періоду (рис. 3.236).

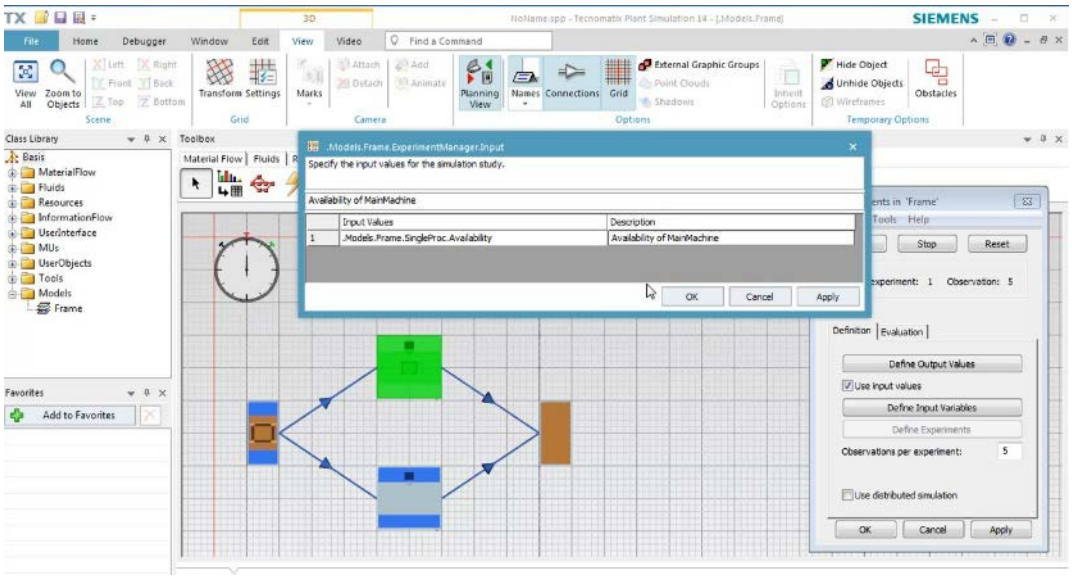


Рис. 3.236 Введення вхідних значень періоду

¶Натискаємо кнопку для визначення експериментів в таблиці (рис. 3.237 та рис. 3.238).

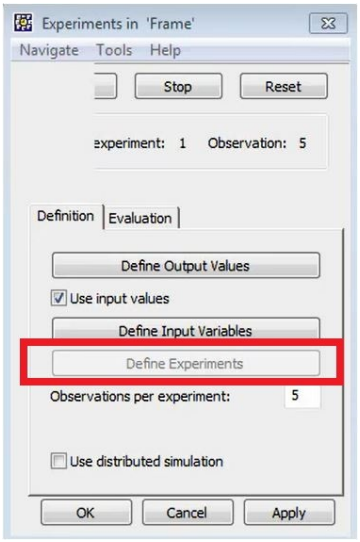


Рис. 3.237 Заповнення таблиці досліду

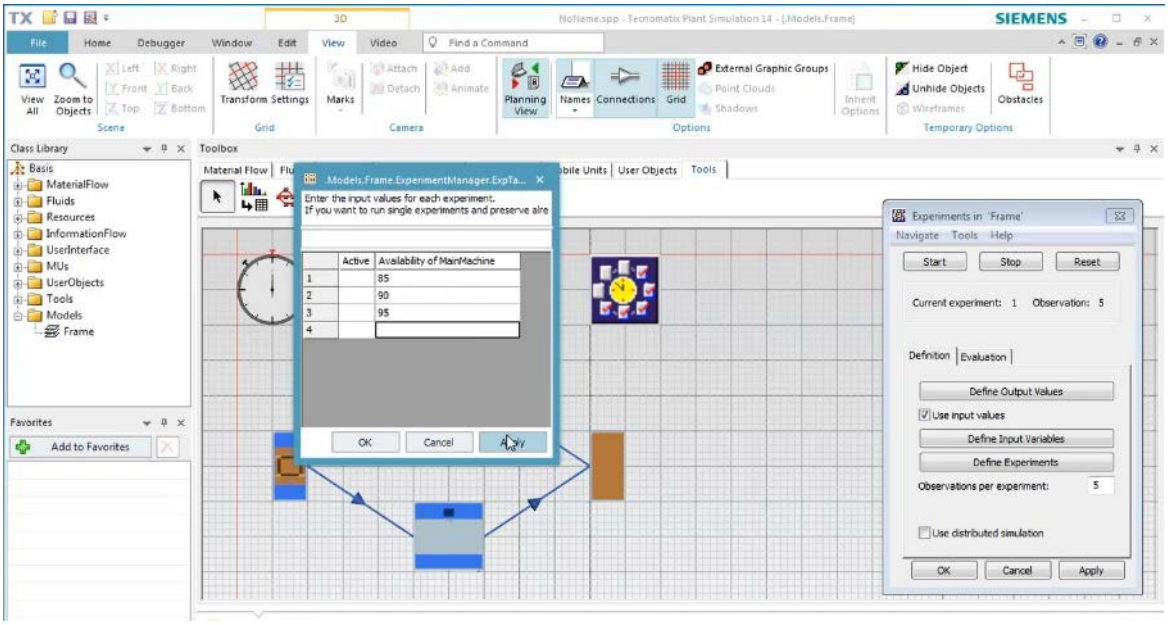


Рис. 3.238 Введення параметрів досліду

Отримуємо звіт проведеного досліду (рис. 3. 239)
¶

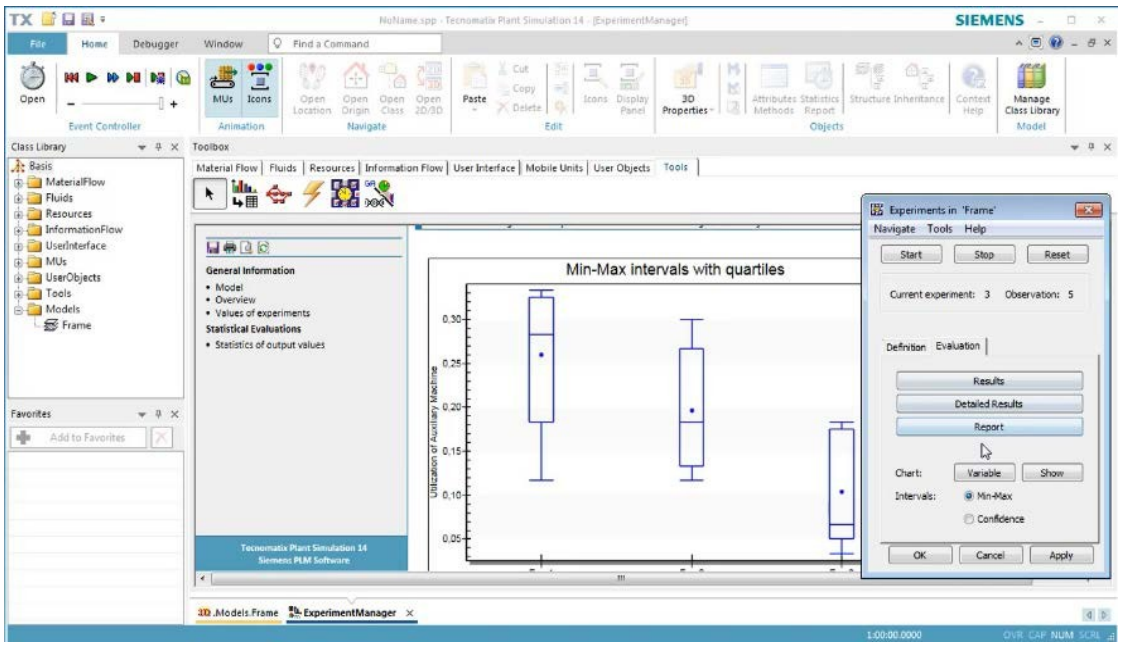


Рис. 3.239 Звіт експерименту

Щоб вивести результати трьох експериментів на одній вкладці оцінки, обираємо показ мінімальних інтервалів Max або довірчі інтервали. Діаграма показує кількість окремих експериментів по осі X і подані значення вихідних значень по осі Y, котрі показують очікуваний взаємозв'язок між доступністю основної станції та допоміжної (рис. 3.240).



Рис. 3.240 Статистичні значення експерименту

Очевидно, що вся доступність основної станції призводить до зменшення роботи на допоміжній. Іншими словами, спостерігаються відмінності між результатами випадкової поведінки моделі, тому необхідні подальші дослідження.

¶Щоб отримати результати з більшою надійністю, необхідно виконати більше спостережень за експериментом для цього вводимо більшу кількість експериментів (рис. 3.241).

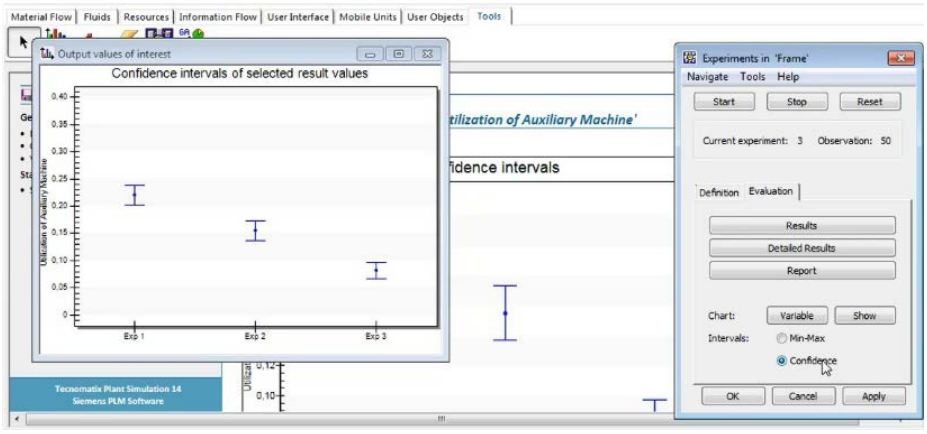


Рис. 3.241 Результати 50 експериментів

Збільшення кількості спостережень призводить до зменшення ширини довірчих інтервалів, що дає більшу впевненість в результатах експерименту.

3.11. Методи вивчення витрат робочого часу спостереженням

Після запуску програмного додатку необхідно створити нову модель за допомогою команди *"Create New Model"* (рис. 3.275). В наступному діалоговому вікні необхідно обрати тип моделі: двовимірна (2D) або тривимірна (3D). Обираємо 3D модель.

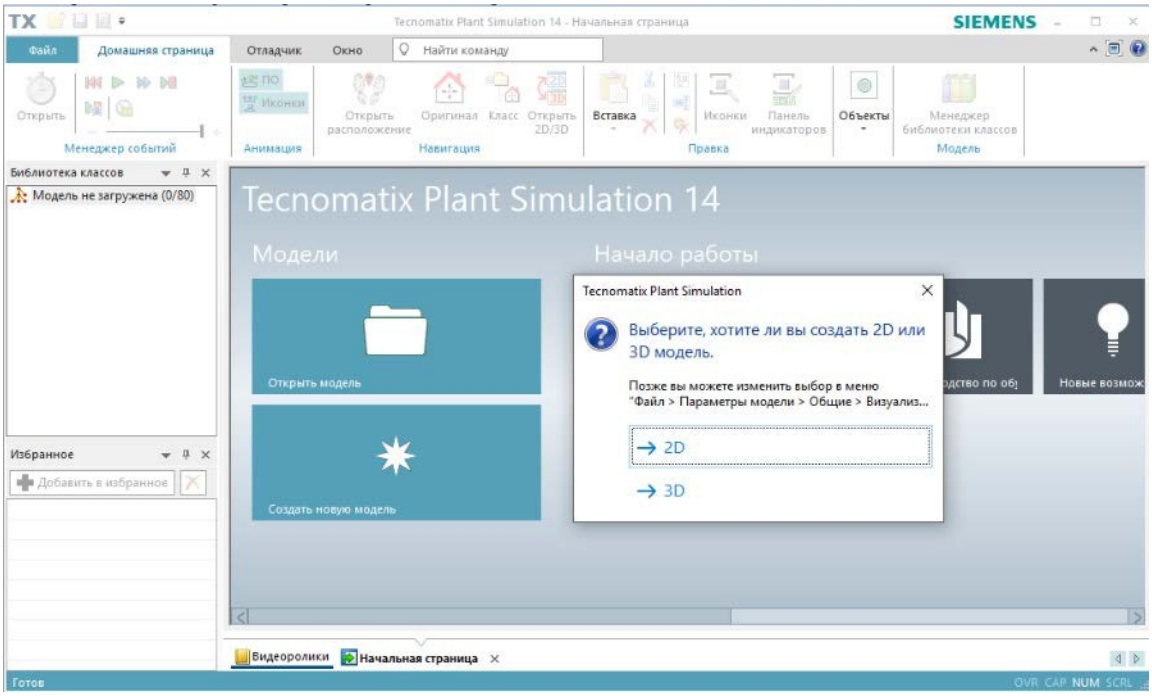


Рис. 3.275 Створення нової моделі

Для початку виконання лабораторної роботи потрібно підключити додаткову бібліотеку *«Crane»*. Для цього натисніть кнопку *«Manage Class Library»* (рис. 3.276), на вкладці, що відкриється, оберіть потрібний пункт, в нашому випадку *«Crane»*.

¶

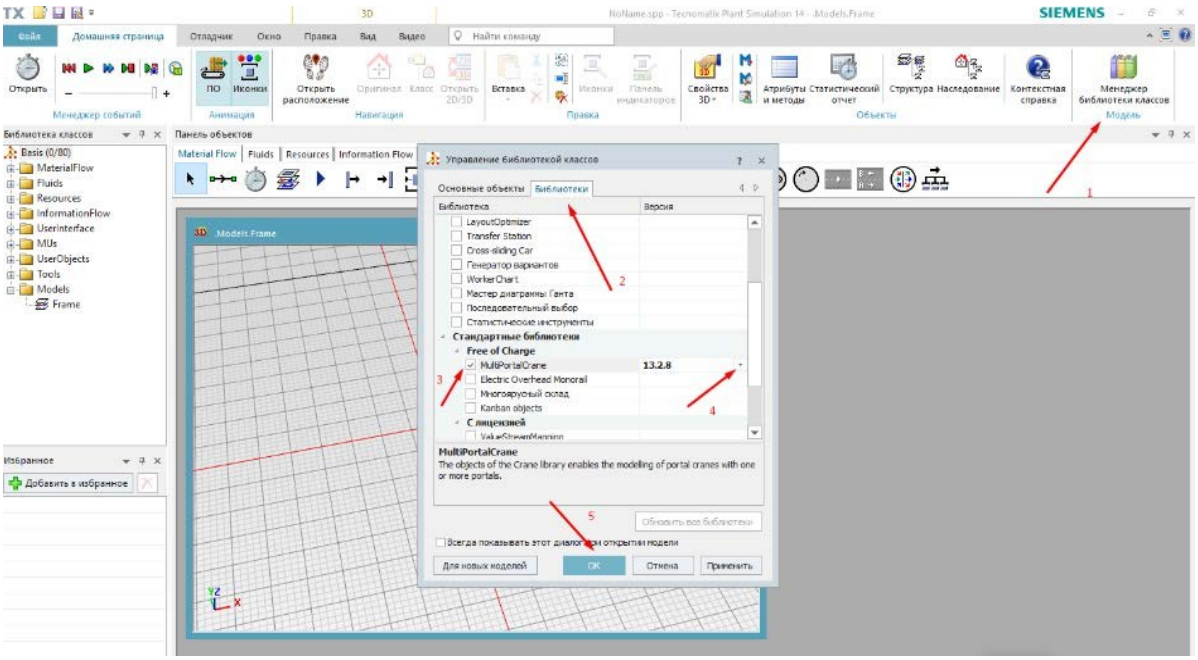


Рис. 3.276 Загальний вигляд менеджеру бібліотек та потрібний пункт

При проектуванні зручно використовувати режим перегляду *“Вид в плані”* (рис.3.277), для цього необхідно обрати вкладку *“Вид”* → *“Вид в плані”*.

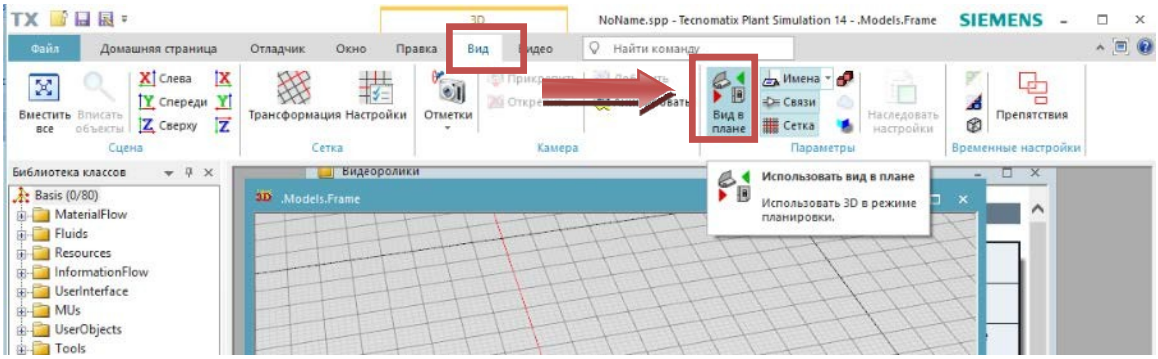


Рис. 3.277 Вибір режиму перегляду

Після чого на робоче поле вставляємо *«Source»*, чотири *«SingleProc»* і *«Drain»* з набору інструментів (рис. 3.278).

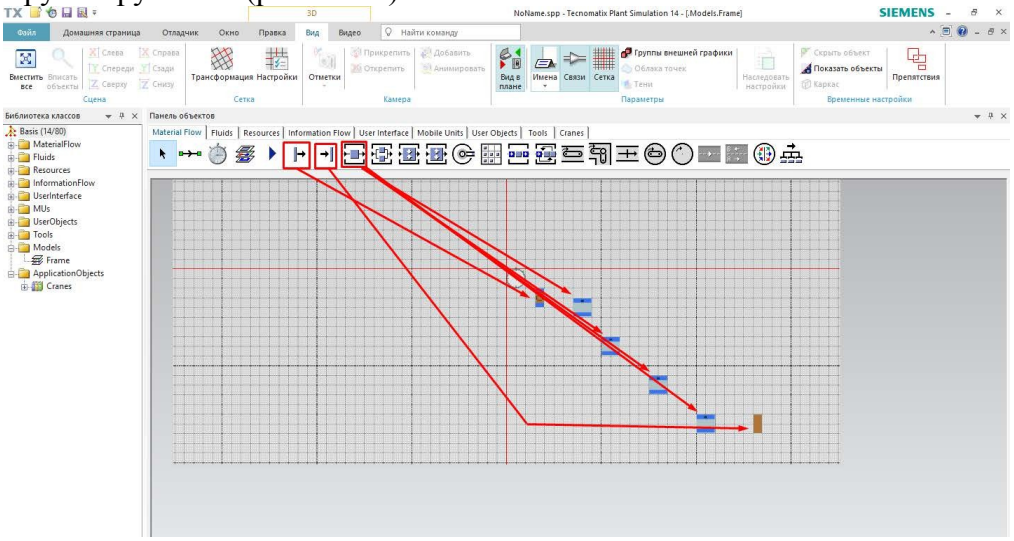


Рис. 3.278 Отримана робоча зона

У вкладці *«Cranes»* ми відкриваємо завантажувач *«Gantry»*. Додаємо *«Gantry»* (рис. 3.279).

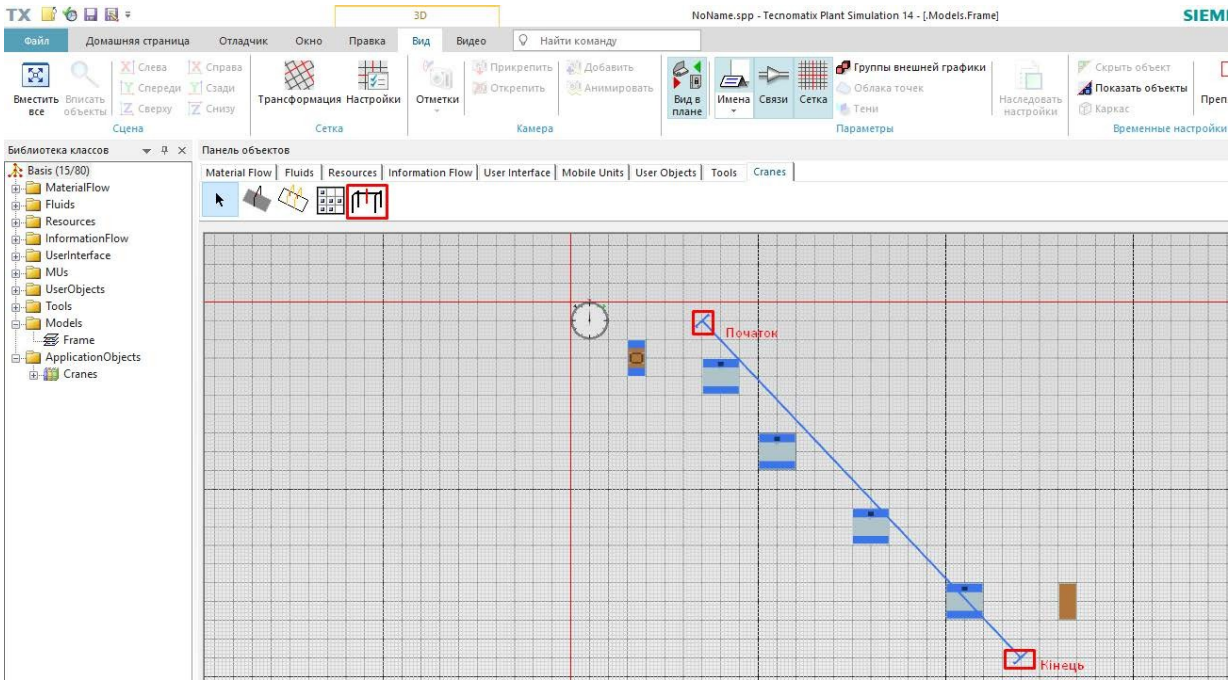


Рис. 3.279 Встановлення завантажувача «Gantry»

Станції краще розташовувати так, щоб вони перебували безпосередньо у напрямку пересування крана.

Переміщаємо всі станції під *«GantryLoader»*. Подвійним натиском викликаємо діалогове вікно і у вкладці *«Gripper»* ставимо галочку на пункті *«Double Gripper»*. Тиснемо ОК (рис. 3.280).

¶

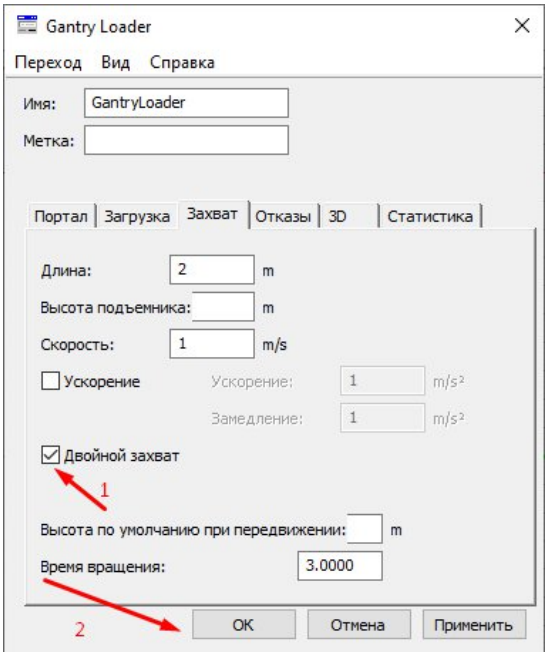


Рис. 3.280 Інтерфейс вкладки «Gripper»

Повторно переходимо в меню *«Planning view»*. Після чого у вкладці *«Information flow»* тиснемо кнопку *«Method»*, ставимо об'єкт поруч з і станціями і при затиснутій клавіші «*TAB*», натиснувши F2, змінюємо назву на

«onExit». Переміщуємо об'єкт в першу станцію (рис. 3.281).

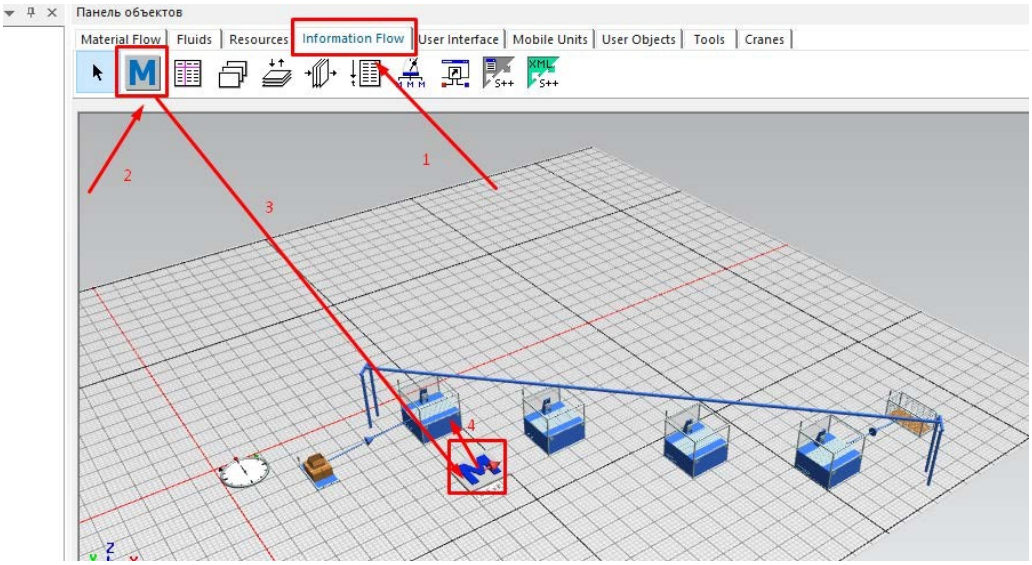


Рис. 3.281 Встановлення «Method»

Після подвійного натискання ми починаємо редагувати файл підпрограми. Код підпрограми зображений нижче.

```
var Gantry : object := GantryLoader var Loader : object := Gantry.Loader1 var step : integer := 1
¶waituntil Loader.state="idle"
Repeat
switch step case 1
¶
case 2
Loader.pickMuFrom(Station)

if not Station1.occupied then step := 99
¶end

¶
case 3
loader.replaceMuAt(Station1)

if not Station2.occupied then step := 99
¶

case 4 else

end
end Loader.replaceMuAt(Station2)

Loader.replaceMuAt(Station3)

Loader.endsequence exitLoop
¶waituntil Loader.state="idle" or Loader.state="waiting" step +=1
until false
```

Запускаємо симуляцію знову. Натиснувши на годинник можна регулювати швидкість і змінювати параметри симуляції (рис. 3.282).

¶

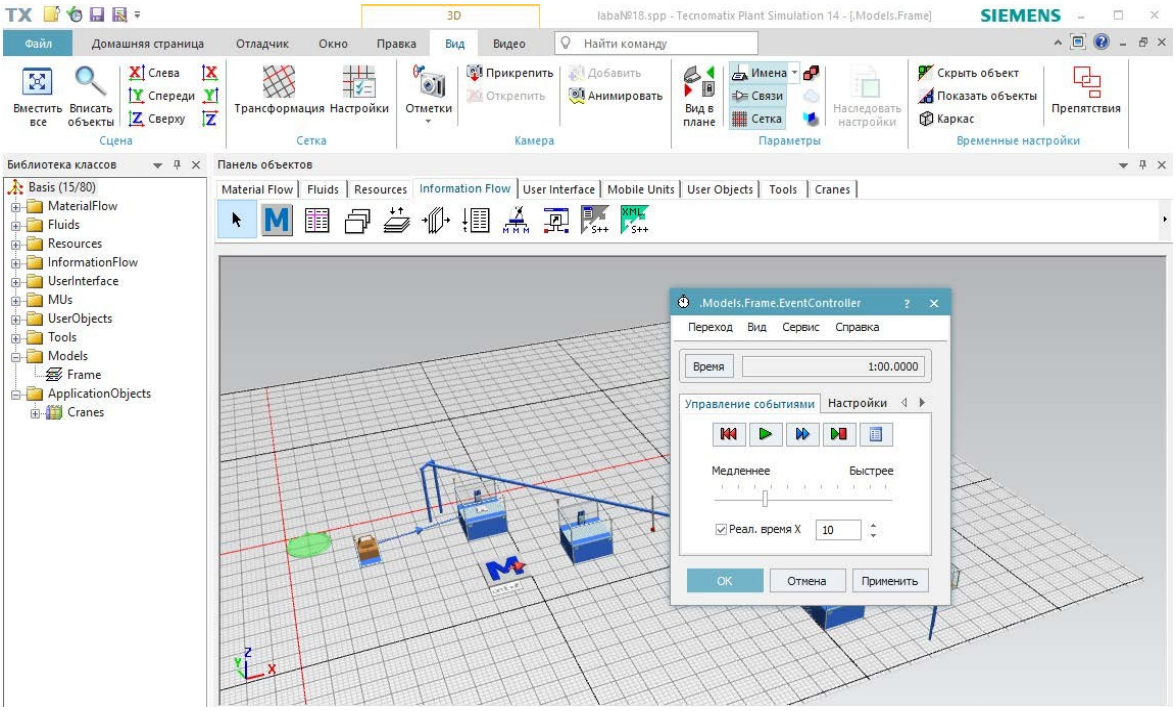


Рис. 3.283 Запуск симуляції

4. СИСТЕМА КПЕ ЗГІДНО СТАНДАРТУ ISO 22400

Стратегія виробництва – це спосіб, яким ми на оперативному рівні забезпечуємо досягнення цілей, встановлених на корпоративному і бізнес-рівнях. Стратегія виробництва пов'язує корпоративні та ринкові цілі з ви-робничими ресурсами, так що прийняті рішення відповідають досяжним цілям. Стратегічні покращення повинні бути в розумних межах, з огляду на існуючі можливості і інвестиції. При розробці стратегії виробництва важливо створити двосторонній зв'язок між цілями і можливостями. За-вдання полягає в тому, щоб забезпечити постійну відповідність або узго-дження між результативністю, цілями виробництва й експлуатаційними можливостями. У кожної мети може бути кілька КПЕ, які необхідно вимі-ряти. Що ми маємо на увазі під якістю? Виявляємо ми проблеми з якістю продукції під час виробництва та як їх оцінюємо - матеріал для доопрацю-вання або відходи? Або ми відправляємо продукти клієнтам, отримуючи рекламації? Іншим прикладом, пов'язаним з гнучкістю, може бути гнуч-кість продукту, виміряна з точки зору кількості продуктів або варіантів, гнучкість асортименту продукції, виміряна як здатність запускати різні продукти на одній і тій же лінії, або гнучкість показує здатність збільшу-ватися або зменшуватися обсягів виробництва.

4.1 Ієрархія керування виробництвом

Функції виробничого підприємства ієрархічно структуровані в фун-кційній моделі (Рис. 1). Спускаючись по ієрархії функцій, можна побачити рівень бізнес-планування та логістики підприємства (Рівень 4), керування виробництвом – MOM (Рівень 3), керування порційними, безперервними та дискретними процесами (Рівні 1 та 2).
Стандарт ISO 22400 фокусується саме на рівні MOM.

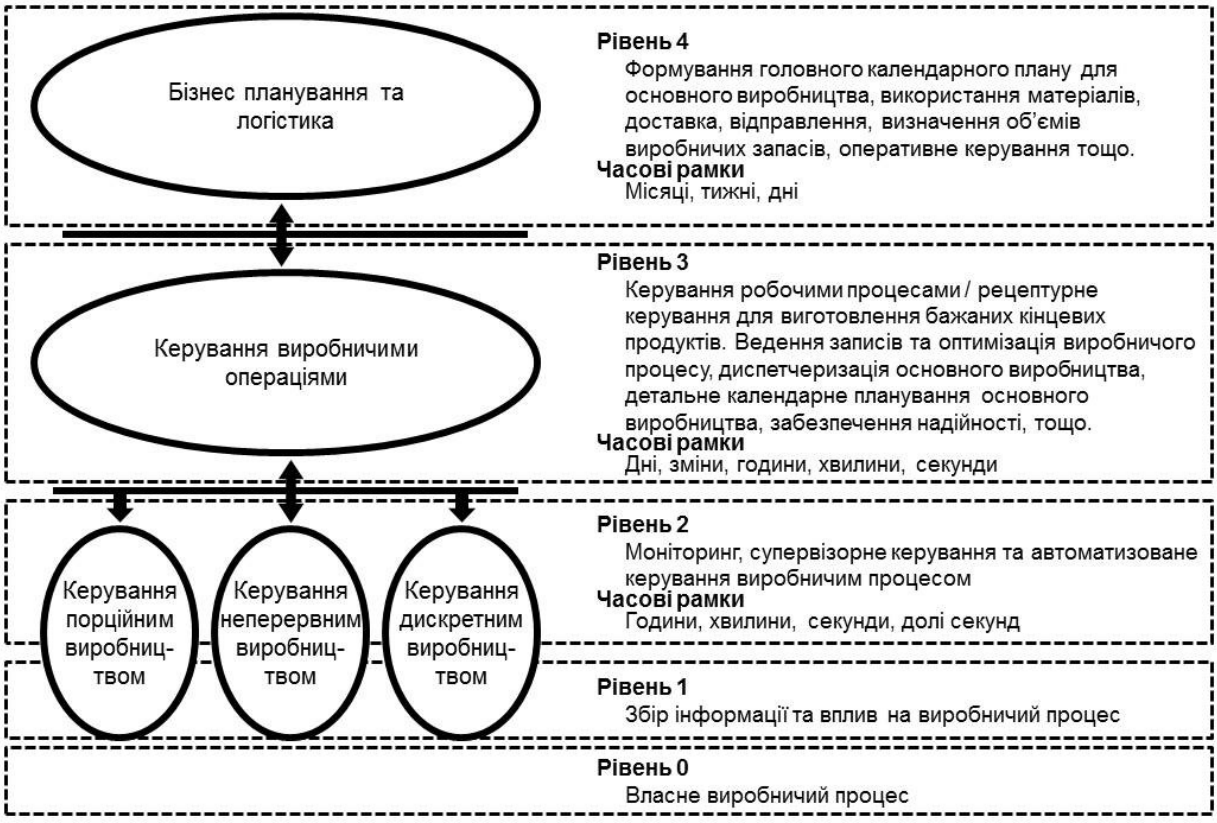


Рис. 4. 1-рівнева ієрархія виробництва є загально прийнятою в більшості стандартів ISO/IEC, що мають відношення до систем керування виробництвом

Методи покращення потребують розуміння цілей через визначення набору КПЕ, що необхідні для керування. Цей набір КПЕ залежить від критеріїв вибору, яка забезпечує досягнення цілей. Ці КПЕ можуть бути асоційовані з різними категоріями виробничих операцій, в яких вимірю-вання проходять від конкурентних процесів на рівні 2 та нижче. Використан-ня КПЕ може бути одним з потенційних інструментів підтримки без-перервного покращення.

Відповідно до стандарту ISO 22400 основою для побудови КПЕ є еле-менти на низькому рівні в ієрархічній структурі. Вони надають дані для КПЕ більш високого рівня. Елементи можуть бути виміряними, розрахо-ваними чи встановленими через певні вимоги. Одночасно вони ж можуть слугувати предметами покращень на локальному рівні.

Основні КПЕ, наприклад, експлуатаційна готовність або якість про-дукції - це показники, побудовані на декількох основних елементах. Разом вони несуть більше інформації про стан процесів, а також надають більш широкий спектр можливостей для покращення.

Основні КПЕ можуть бути інтегровані або об’єднані в комплексні КПЕ певними математичними формулами, як це показано на Рис. 2. КПЕ майже завжди пов’язані з цілями звітностей, порівняльного аналізу або активації умов покращення процесів. При використанні комплексного

¶КПЕ для стимулювання роботи щодо покращення необхідне розуміння елементів і базових КПЕ, що становлять комплексний КПЕ.

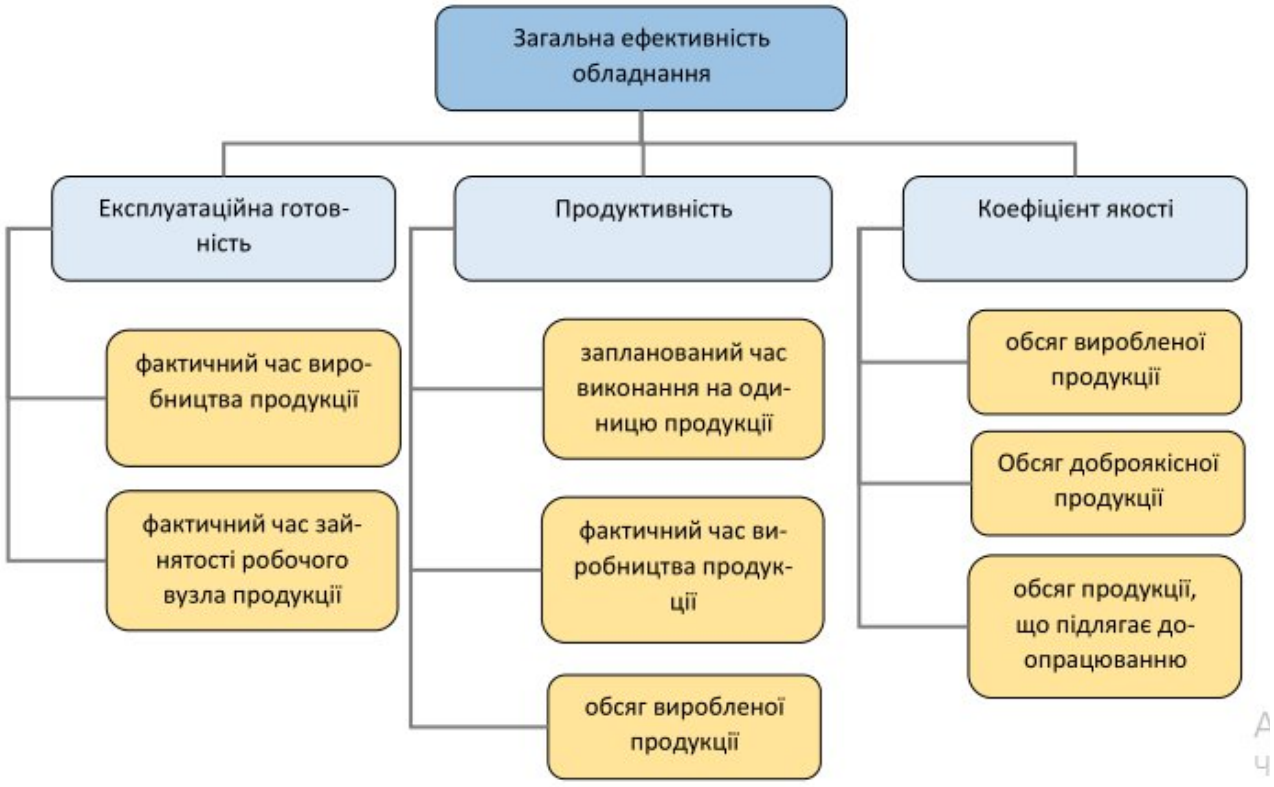


Рис. 4.2. Структура головного показника ефективності, ЗЕО

КПЕ залежно від свого місця в ієрархії та користувача може бути ви-переджаючим і кінцевим. Випереджаючий КПЕ – той, який «випереджає» та керує кінцевим КПЕ – результуючим. Наприклад, на ЗЕО впливає пока-зник Експлуатаційна готовність (ЕГ) устаткування (безвідмовність роботи), відповідно ЕГ – це випереджаючий КПЕ по відношенню до ЗЕО. Причому для фінансового директора ЗЕО буде випереджаючим по відношенню до прибутку або ROI, але для начальника відділу КВПтаА – кінцевим. Логіка управління вимагає балансу цих двох видів КПЕ – випереджуючих та кін-цевих. Наприклад, якщо ви технічний директор і відповідаєте за ЗЕО, то вам потрібно ще багато інших КПЕ для управління та контролю і для того, щоб досягти своєї мети.

¶

4.2. Мета застосування КПЕ

У застосування КПЕ є три основні мети: звітність, керування і покра-щення (Рис. 4). Деякі КПЕ можуть бути корисні для всіх цих цілей, в той час як інші тільки для однієї мети. Ці цілі існують на всіх ієрархічних рів-нях в компанії і для різних функцій. Ми сфокусуємося на основних функ-ціях виробництва та його підтримки.

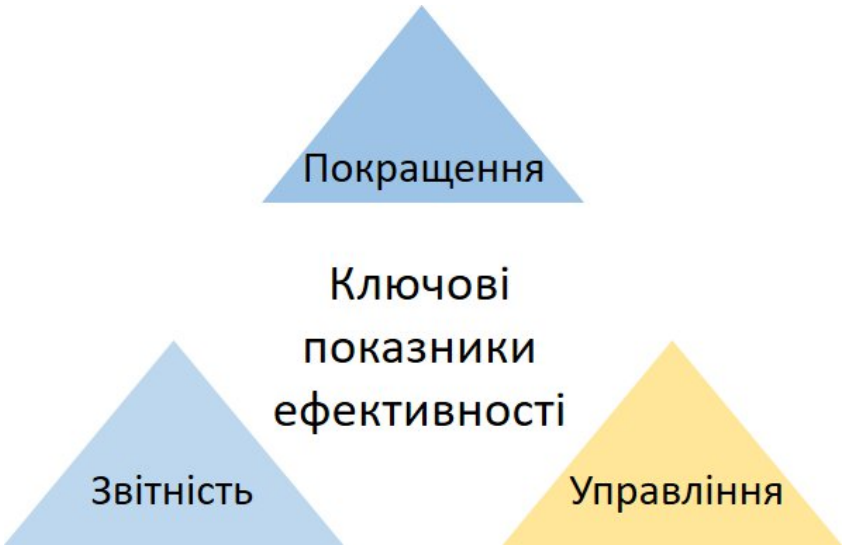


Рис. 4.3. Три цілі в застосування КПЕ

Звітність

Є кілька цілей звітності, таких як:

- обов’язкова звітність на вимогу законодавства;
- публічні звіти, наприклад річні або звіти про корпоративну соціа-льну відповідальність;
- порівняльний аналіз, наприклад, між окремими виробничими пло-щадками в одній групі компаній;
- внутрішня звітність.

Внутрішня звітність – це виконані вимірювання та узагальнення, які передаються на наступний рівень управління. Вони не обов'язково вико-ристовуються для прямого контролю, наприклад, споживання енергії та кількість аварій, але є компонентами для розрахунків більш узагальнених КПЕ.

Керування

Управління виробництвом здійснюється на всіх рівнях та в різних ча-сових масштабах. Від вимірювання певного параметра якості в конкретній машині у виробничій лінії, до щомісячного відстеження ефективності по-

¶стачання на заводському рівні, щоб контролювати виконання вимог дос-тавки. Керуюча дія виконується для забезпечення того, щоб вимірюваний параметр перебував у допустимих границях. Тому завжди пов'язана з кон-трольними межами, верхніми або нижніми межами допуску, визначаючи прийнятний інтервал.

Покращення

Покращення можуть бути різного масштабу: від невеликих безперер-вних поліпшень до великих інвестиційних проектів. КПЕ забезпечують розуміння того, що покращення були досягнуті.

Може виникнути необхідність у нових, особливих КПЕ, щоб переко-натися, що покращення сприяють досягненню стратегічних цілей. На-приклад: стратегічна мета – мати гнучке виробництво. У цьому випадку гнучкість вимірюється опосередковано через КПЕ для рівня обслугову-вання клієнтів. Для збільшення гнучкості визначається, що час налашту-вання повинен скоротитися. У проекті покращення застосовується новий КПЕ для вимірювання часу

налаштування, хоча до та після проекту не було необхідності вимірювати саме цей час налаштування.

Правильне застосування КПЕ як мотиваційного елементу управління включатиме напрямок його досягнення, цільовий показник та термін до-сягнення мети. «За наступні 6 місяців року збільшити ЗЕО з 70% до 82%» містить 4 критерії правильного управління через КПЕ: напрямок руху (збільшити), сам КПЕ (ЗЕО), цільовий показник (85%) та часовий період (6 місяців).

4.3. Опис КПЕ

Стандарт ISO 22400 надає узагальнену методику опису ключових по-казників якості, їх структури та використання. КПЕ представляється через його визначення, тобто складається з контенту та контексту. Його зручно представляти у табличному вигляді, хоча він пристосований і до інших способів відображення – формату обміну даними, графічному форматі тощо.

Таблиця 4.1. Таблиця структури КПЕ

Опис КПЕ	
Інформація по контенту:	
Назва	назва КПЕ, напр. експлуатаційна готовність, продуктивність праці робітника
Ідентифікатор (ID)	визначена користувачем унікальна ідентифікація КПЕ у сере-довищі користувача
Опис	опис КПЕ
Сфера застосування	ідентифікація елемента, для якого важливий КПЕ, наприклад, робочий вузол, робочий центр, замовлення, продукція чи пер-сонал
Формула	математична формула КПЕ, визначена його складовими час-тинами
Одиниця вимірювання	основна одиниця або розмірність, в якій виражається КПЕ
Діапазон	верхня і нижня границі поля допуску
Тренд	інформація про напрямок вдосконалення, тобто вищий є кра-щим або нижчий є кращим
Контекстна інформація:	
Період часу	частота розрахунку: у режимі реального часу (по мірі того, як відбувається процес): після кожної нової події збору даних; періодично: робиться через певний інтервал, напр. один раз на день; по запиту: після конкретного запиту на вибір даних.

Цільова аудиторія	групи користувачів, яка зазвичай використовує КПЕ: оператори, відповідальні за безпосередню експлуатацію обладнання; керівництво нижчої ланки, відповідальне за керівництво діяльністю операторів; керівництво підприємства, відповідальне за загальне функціонування виробництва.
Тип виробництва	порційний, неперервний, дискретний або їх комбінація
Діаграма моделі впливу	Інформація про діаграму моделі впливу визначає розташуван-ня схеми, що зображує склад КПЕ від джерел вимірювань.

Діаграма моделі впливу – це графічне зображення залежностей еле-ментів КПЕ, що корисно для розуміння впливу вихідних значень. На при-кладі КПЕ ЗЕО:

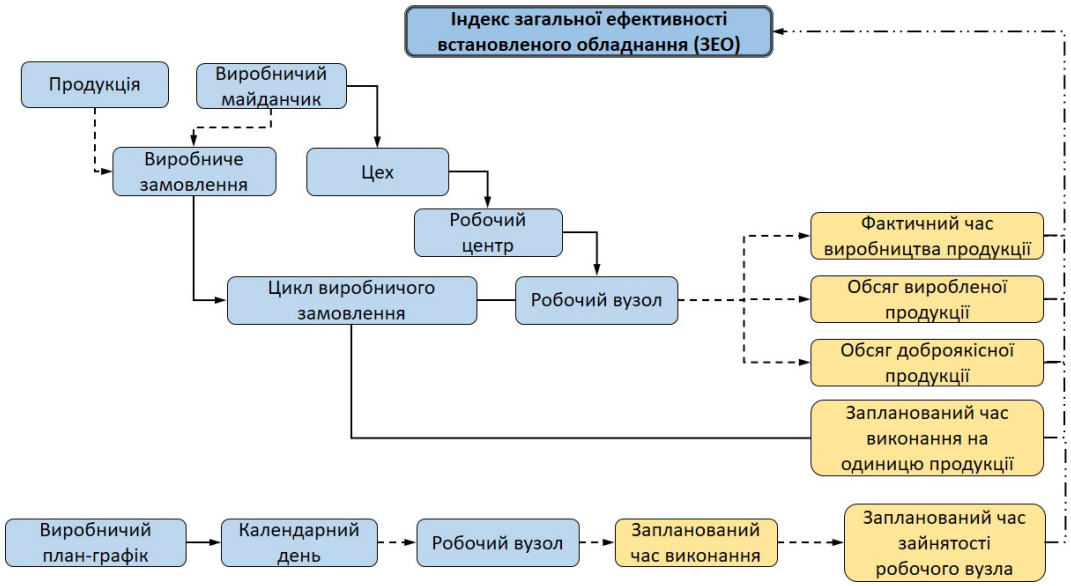


Рис. 4.5. Діаграма залежностей та впливів згідно стандарту ISO 22400

Детально кожний стандартний КПЕ описаний в ISO 22400-2.

4.4. Вибір КПЕ

Для вибору КПЕ вважається, що відомі наступні аспекти цільової операції:

- чітко визначені складові цільової операції;
- необхідні умови для виконання складових процесів;
- кількісні та якісні показники результатів та цілей;
- є напрямки дій для коригування процесів та ресурсів для досяг-нення цілей операції.

¶КПЕ обираються таким чином, щоб орієнтуватися на потреби та очі-кування користувачів щодо результатів виробничих операцій, не обме-жуючи способів задоволення цих потреб та очікувань. Мета ISO 22400 – забезпечити якомога ширше використання визначення КПЕ у різних галу-зях промисловості та регіональних ринках.

Вибір та використання КПЕ на виробничому підприємстві ілюстру-ється такими кроками:

1) визначаються операції та елементи операцій, що підлягають оцінці;

2) визначаються цілі, що мають бути реалізовані за допомогою показ-ників ефективності;
3) для реалізації цілей описуються оперативні дії при використанні показників ефективності;
4) визначаються критерії оцінки та пов’язані з ними вимірювання для показників ефективності;
5) здійснюється вибір КПЕ;
6) за отриманими КПЕ оцінюється ефективність, порівнюючи із цілями;
7) виконуються супутні дії для досягнення цілей.

4.5. Типи КПЕ

КПЕ, що визначені на рівні МОМ у ISO-22400, поділяються на чотири категорії на основі різних процесів у виробничих системах та на одну до-даткову категорію:

- КПЕ виробництва;
- КПЕ якості;
- КПЕ технічного обслуговування;
- КПЕ операцій з товарно-матеріальними запасами;
- КПЕ енергоменеджменту (доповнюють показники МОМ щодо спо-живання енергії).

КПЕ виробництва стосуються діяльності виробничих ліній, а саме аналізу потоку виробничих замовлень та партій, планування роботи обла-днання та робітників та забезпечення вчасного виконання замовлень. Ці КПЕ в основному пов’язані з робітниками та їх керівниками, які працюють близько до лінії виробництва. Наприклад, КПЕ в цій категорії – це експлу-атаційна готовність, ефективність розподілу, ефективність використання та технічна ефективність.

КПЕ технічного обслуговування стосуються обслуговування всіх ви-робничих ресурсів, таких як обладнання, ро́боти та інші інструменти і включає періодичне планування робіт з обслуговування виробничої лінії. Наприклад, КПЕ в цій категорії – це середній наробіток між відмовами,

¶середній час наробітку до відмови, середній час наробітку до ремонту та частка непланового ремонту.

КПЕ якості мають велике значення в будь-якій виробничій системі та вони гарантують, що вся продукція виробляється найкращої якості. Ці КПЕ вказують на ефективність цілої виробничої лінії з точки зору якості. Керівництво підприємства в основному зацікавлено якістю виробленої продукції, а не дрібними деталями про виробничу лінію, тому саме КПЕ якості можуть допомогти їм отримати загальний огляд роботи всього під-приємства. Прикладом показників якості є коефіцієнт якості, коефіцієнт виправлення браку та відношення між плановим та фактичним обсягом браку.

КПЕ операцій з товарно-матеріальними запасами стосуються тієї дія-льності підприємства, яка пов’язана з транспортуванням сировини зі скла-ду до робочих центрів, відправлення готової продукції та ведення обліку запасів на складі. Наприклад, показники КПЕ у цій категорії – це оборот-ність складських запасів та коефіцієнт втрат при зберіганні та транспорту-ванні.

КПЕ енергоменеджменту підтримують оцінку прямого енергоспожи-вання на робочий вузол або на замовлення, та за виробленою продукцією. Наприклад, показники КПЕ у цій категорії – це ефективність прямого енергоспоживання та пряма енергоефективність. Наступна таблиця пока-зує розподіл усіх 38 КПЕ на вищезазначені категорії:

Таблиця 4.2. Типи КПЕ

№	**Ключовий показник ефективності (КПЕ)**	**Вироб-ництво**	**Якість**	**Технічне обслуго-вування**	**Операції з товарно-матеріальними запасами**	**Енерго-менедж-мент**
1	Продуктивність праці робітника	**V**				

2	Показник розподілу	**V**				
3	Пропускна спроможність	**V**				
4	Ефективність розподілу	**V**				
5	Ефективність використання	**V**				
6	Індекс загальної ефективності використання обладнання	**V**				
7	Індекс чистої ефективності обладнання	**V**				
8	Експлуатаційна готовність	**V**				
9	Продуктивність	**V**				
10	Коефіцієнт якості		**V**			
11	Коефіцієнт підготовки	**V**				
12	Технічна ефективність	**V**				
13	Коефіцієнт виробничого проце-су	**V**				
14	Відношення між плановим та фактичним обсягом браку		**V**			
15	Вихід продукції, якісної з пер-шого пред'явлення		**V**			
16	Коефіцієнт браку		**V**			
17	Коефіцієнт виправлення браку		**V**			
18	Коефіцієнт зниження обсягів продукції		**V**			
19	Індекс відтворюваності облад-нання	**V**				
20	Критичний індекс відтворюва-ності обладнання	**V**				
21	Індекс відтворюваності процесу	**V**				
22	Критичний індекс відтворюва-ності процесу	**V**				
23	Середній наробіток між відмо-вами			**V**		
24	Середній час наробітку до від-мови			**V**		
25	Середній час наробітку до ре-			**V**		

	монту					
26	Частка непланового ремонту			**V**		
27	Повне енергоспоживання	**V**				
28	Коефіцієнт готової продукції	**V**				
29	Коефіцієнт сумарної продукції	**V**				
30	Коефіцієнт втрат виробництва	**V**				
31	Коефіцієнт завантаження устат-кування	**V**				
32	Оборотність складських запасів				**V**	
33	Коефіцієнт втрат при зберіганні та транспортуванні				**V**	
34	Коефіцієнт інших втрат				**V**	
35	Ефективність прямого енерго-споживання					**V**
36	Ефективність прямого чистого енергоспоживання					**V**
37	Пряма енергоефективність					**V**
38	Пряма чиста енергоефектив-ність					**V**

Повний опис КПЕ згідно стандарту ISO 22400

¶

4.6. Визначення КПЕ

КПЕ виробництва:

1) Експлуатаційна готовність – це показник відношення між фак-тичним часом виробництва продукції (APT) та запланованим часом зайнятості (PBT) для одного робочого вузла.

2) Продуктивність – це відношення між запланованим цільовим циклом та фактичним циклом, який відображається як заплано-ваний час виконання на одиницю продукції (PRI), помножений на обсяг виробленої продукції (PQ) й поділений на фактичний час виробництва продукції (APT).

3) Ефективність розподілу – це співвідношення між фактичним ча-сом розподілу робочого вузла, вираженим як фактичний час зайнятості робочого вузла (AUBT), і запланови́м часом розподілу робочого вузла, вираженим як запланови́й час зайнятості робо-чого вузла (PBT).

4) Технічна ефективність робочого вузла – це відношення між фа-ктичним часом виробництва продукції (APT) та сумою фактич-ного часу виробництва продукції (APT) плюс фактичний час за-тримки робочим вузлом виконання замовлення (ADET), який включає затримки та перерви, викликані технічними несправ-ностями.

5) Продуктивність праці робітника враховує взаємозв'язок між фа-ктичним робочим часом

персоналу (APWT), який пов'язано з виробничими замовленнями, і фактичним часом знаходження персоналу на робочому місці (APAT) для даного працівника.

6) Ефективність використання – це відношення між фактичним часом виробництва продукції (APT) та фактичним часом зайня-тості робочого вузла (AUBT).

7) Коефіцієнт підготовки – це відношення між фактичним часом підготовки робочого вузла (AUST) до фактичного часу його під-готовки та виробництва продукції (AUPT). Він визначає відсоток часу на підготовку до роботи в порівнянні з загальним часом роботи.

8) Показник розподілу – це відношення між фактичним часом зайнятості усіх робочих вузлів (AUBT) в рамках виробничого за-мовлення, та фактичним часом його виконання (AOET).

9) ¶Коефіцієнт виробничого процесу визначає відношення між фа-ктичним часом виробництва (APT) по всім робочим вузлам та робочим центрам в виробничому замовленні та повним часом виробництва замовлення, який є фактичним часом виконання (AOET).

10) Пропускна спроможність відображається через обсяги виробле-ної в рамках замовлення продукції (PQ) та фактичний час його виконання (AOET).

11) Індекс загальної ефективності використання обладнання (ЗЕО) відображає експлуатаційну готовність робочого вузла, його про-дуктивність та коефіцієнт якості. Всі ці елементи інтегровані в один показник ЗЕО.

12) Індекс чистої ефективності обладнання (ЧЕО) комбінує відно-шення між фактичним часом підготовки та виробництва проду-кції робочим вузлом (AUPT) та запланованим часом зайнятості (PBT), КПЕ ефективності та КПЕ коефіцієнта якості – в один по-казник.

13) Індекс відтворюваності обладнання (C_m) – це відношення варіа-ції процесу та встановлених обмежень. Цей метод дозволяє порі-внювати діапазон між визначеними границями поля допуску (USL, LSL) та 6-ти стандартних відхилень для послідовності ви-мірювань певної характеристики.

14) Критичний індекс відтворюваності обладнання (C_{mk}) – це від-ношення між варіацією процесу та верхньою чи нижньою гра-ницею поля допуску (USL, LSL) і їхніми середніми значеннями ($\bar{x}$). Метод дозволяє порівнювати діапазон між встановленою верхньою чи нижньою границею поля допуску і їх середніми значеннями та 3-ма стандартними відхиленнями для послідов-ності вимірювань певної характеристики.

15) Індекс відтворюваності процесу (C_p) – це відношення між варіа-цією процесу та встановленими границями поля допуску. Метод дозволяє порівнювати діапазон між встановленими границями поля допуску (USL, LSL) та 6-ти стандартними відхиленнями процесу для певної характеристики.

16) Критичний індекс відтворюваності процесу (C_{pk}) – це відно-шення між варіацією процесу та верхньою чи нижньою визна-ченою границею поля допуску (USL, LSL) і їхніми середніми значеннями від середніх ($\bar{\bar{x}}$). Метод дозволяє порівнювати діапа-зон між встановленими границями поля допуску (USL, LSL) і їх середніми значеннями та 3-ма стандартними відхиленнями процесу.

17) ¶Повне енергоспоживання – це співвідношення між всією спожи-тою під час виробничого циклу енергією та обсягом виробленої продукції (PQ).

18) Коефіцієнт готової продукції – це відношення між обсягом доб-роякісної продукції (GQ) та обсягом використаних матеріалів (CM).

19) Коефіцієнт сумарної продукції – це відношення між сумарним обсягом виробленої продукції (IGQ) та обсягом використаних матеріалів (CM).

20) Коефіцієнт втрат виробництва – це відношення між обсягом втрат виробництва (PL) та обсягом використаних матеріалів (CM).

21) Коефіцієнт завантаження устаткування враховує обсяг виробле-ної продукції (PQ) по відношенню до виробничої потужності устаткування (EPC).

КПЕ якості:

1) Коефіцієнт якості – це відношення між обсягом доброякісної продукції (GQ) та обсягом виробленої продукції (PQ).
2) Відношення між плановим та фактичним обсягом браку вирахо-вується як фактичний обсяг браку (SQ) поділений на запланова-ний обсяг браку (PSQ), й що в результаті вказує, скільки браку є насправді по відношенню до очікуваного (запланованого).
3) Коефіцієнт браку – це відношення між обсягом браку (SQ) та об-сягом виробленою продукції (PQ).
4) Коефіцієнт виправлення браку – це відношення обсягу продук-ції, що підлягає доопрацюванню (RQ), до обсягу виробленої продукції (PQ).
5) Коефіцієнт зниження обсягів продукції враховує величину зни-ження для конкретної виробничої операції по відношенню до кількості продукції, виробленої під час першої операції (PQ). Ро-зраховується як кількість продукції, виробленої під час циклу першого виробничого замовлення, за вирахуванням обсягу доб-роякісної продукції (GQ) на поточному циклі виробничого за-мовлення.
6) Вихід продукції, якісної з першого пред'явлення (FPY) говорить про відсоток продуктів, які повністю відповідають вимогам якос-ті на першому пред'явленні контролю якості без переробки. По-казник відображається як відношення між доброякісними виро-бами (GP) та перевіреними виробами (IP).

¶КПЕ технічного обслуговування

1) Середній наробіток між відмовами – це середнє значення всього часу роботи між відмовами (TBF) робочого вузла для всіх випад-ків відмови (FE).
2) Середній час наробітку до відмови – це середнє значення часу наробітку до відмови (TTF) робочого вузла для всіх випадків від-мови (FE).
3) Середній час наробітку до ремонту – це середнє значення часу наробітку до ремонту (TTR) робочого вузла для всіх випадків ві-дмови (FE). Середній час наробітку до ремонту - це середній час, який необхідно для відновлення несправного компонента в ро-бочому вузлі.
4) Частка непланового ремонту технічного обслуговування врахо-вує час непланового ремонту (CMT) по відношенню до загально-го часу технічного обслуговування, вираженого як сума часу не-планового ремонту (CMT) та часу профілактичного технічного обслуговування (PMT).

КПЕ операцій з товарно-матеріальними запасами

1) Оборотність складських запасів визначається як відношення продуктивності (TH) до середнього обсягу складських запасів. Показник використовується для визначення ефективності вико-ристання складських запасів та відображає середню кількість поповнень чи відновлень складських запасів.
2) Коефіцієнт втрат при зберіганні та транспортуванні – це відно-шення кількості втрат при зберіганні та транспортуванні (STL) до обсягу використаних матеріалів (CM).
3) Коефіцієнт інших втрат – це відношення кількості втрат, які не пов'язані з виробництвом, зберіганням або транспортуванням (інших втрат (OL)) до обсягу використаних матеріалів (CM).

КПЕ енергоменеджменту:

1) Ефективність прямого енергоспоживання – це відношення за-планованого прямого енергоспоживання на одиницю продукції (PDEI), помноженого на обсяг виробленої продукції (PQ), до фа-ктичного прямого енергоспоживання (ADEC). Це відношення
¶показує, наскільки ефективне планування енергоспоживання для виробництва обсягу виробленої продукції (PQ).

2) Ефективність прямого чистого енергоспоживання відображає відношення запланованого прямого енергоспоживання на оди-ницю продукції (PDEI), помноженого на обсяг доброякісної продукції (GQ), до фактичного прямого енергоспоживання (ADEC). При використанні цього КПЕ береться до уваги лише обсяг доброякісної продукції, виробленої впродовж часу вимі-рювання.
3) Показник прямої енергоефективності відображає пряме енерго-споживання (ADEC) на одиницю обсягу виробленої продукції (PQ). При використанні цього КПЕ враховується обсяг продук-ції, виробленої впродовж часу вимірювання.
4) Показник прямої енергоефективності відображає пряме енерго-споживання (ADEC) на одиницю обсягу доброякісної продукції (GQ). У цьому КПЕ враховується обсяг лише доброякісної про-дукції, виробленої впродовж часу вимірювання. Цей КПЕ вико-ристовується у випадках, коли енергія використовується для ви-робництва.

Рекомендована література:

1. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки – Технологія машинобудування/ Б.С. Воронцов, Ю.М. Бецко, О.О. Мельник; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 186 с.
2. 13. Воронцов Б.С. Імітаційне моделювання механоскладального виробництва/ Б.С. Воронцов, І.А. Бочарова // Нові технології в машинобудуванні – Харків: ТОВ «Планета-Прінт», 2021.-С. 38-39.
3. Bangsow S. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions / Steffen Bangsow. – Berlin: Springer – 2010. – 300 p.
4. Mes M.R.K. Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial / Martijn R.K. Mes. – Enschede: University of Twente, 2017. – 192 p.
5. Tecnomatix Plant Simulation: Compact Student Training. – Siemens PLM Software, 2017. – 177 p.
6. se plant simulation and throughput optimization to improve manufacturing performance. – Режим доступу: https://www.plm.automation.siemens.com/ global/ru/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput- optimization.html
7. Долгов В.А. Имитационное моделирование производственных систем в проектах технического перевооружения. – Режим доступу: http://simulation.su/uploads/files/default/prez-dolgov-getnet.pdf
8. Plant Simulation. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Plant_ Simulation
¶Найчук, Б.С. Воронцов // Інновації молоді в машинобудуванні: Збірка праць. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – № 2. – С. 485-493.
9. Воронцов Б.С. Імітаційне моделювання механоскладального виробництва / Б.С. Воронцов, І.А. Бочарова // Нові технології в машинобудуванні – Харків: ТОВ «Планета-Прінт», 2021.-С. 38-39.