

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Локомотиви»

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ.
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Методичні рекомендації до практичних занять
та дипломного проектування

Дніпро – 2022

УДК 629.4.014.26

Укладачі:

Д. В. Бобирь, О. Б. Очкасов, М. В. Очеретнюк

Рецензенти:

кандидат техн. наук, доцент. *О.В. Карпович* (ДНУ ім. О.Гончара),
д-р техн. наук, доц. *В. В. Артемчук* (УДУНТ)

Рекомендовано до друку МКФ ТІ (протокол № 2 від 11.11.2021)
Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 545 від 15.04.2022)

Математичні методи та моделі в спеціальних задачах. Моделювання систем масового обслуговування [Електронний ресурс]: метод. рекомендації до практ. занять та дипл. проект. / уклад.: Д. В. Бобирь, О. Б. Очкасов, М. В. Очеретнюк; Український державний університет науки і технологій. – Дніпро, 2022. – 21 с.

Методичні рекомендації містять методику моделювання роботи цеху з технічного обслуговування локомотивів із застосуванням теорії масового обслуговування у програмному комплексі Matlab Simulink.

Для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «магістр» за ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

Іл. 21. Бібліогр.: 6 назв.

- © Бобирь Д. В., Очкасов О. Б., Очеретнюк М. В., укладання, 2022
- © Український державний університет науки і технологій, редагування, оригінал-макет, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ MATLAB	4
1.1 Види, принципи та основні етапи моделювання	5
1.2 Визначення бібліотеки для побудови моделей системи масового обслуговування.....	7
РОЗДІЛ 2 ДЕТАЛІЗАЦІЯ БЛОКІВ БІБЛІОТЕКИ SIMEVENTS КОМПЛЕКСУ SIMULINK.....	8
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЦЕХУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ	12
Список рекомендованої літератури	20

ВСТУП

В сучасних умовах неможливо провести дослідження чи аналіз складних систем залізничного транспорту (при проектуванні, виготовленні, визначенні максимального ресурсу тощо) без використання сучасних комп'ютерних програм. Комп'ютерне моделювання дозволяє дослідити, обрати принцип дії, розробити ескізний і технічний проекти, оптимізувати їх, підготувати конструкторську документацію, а також іншу інформацію для виробництва з використанням автоматизованих технологій для всебічного аналізу. За допомогою сучасних комп'ютерних програм при проектуванні та розробці систем й різноманітних підсистем з'являється можливість з максимальною точністю і швидкістю знайти найбільш оптимальні стани останніх.

Методичні вказівки сприяють поглибленому засвоєнню дисципліни «Математичні методи та моделі в спеціальних задачах» сприяють розвитку навичок виконання інженерних розрахунків та допомагають скоротити час на виконання розрахунково-графічних робіт. Можуть бути використані для самостійної роботи та вивчення засобів комп'ютерного моделювання. Для студентів всіх форм навчання спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

Методичні вказівки нададуть студентам можливість моделювати та досліджувати складні системи залізничного транспорту та побачити залежність роботи даних систем від зміни вхідних параметрів. Представлення отриманих результатів досліджень можливо з використанням табличних форм та побудови графіків залежності критеріїв оцінки систем.

В методичних рекомендаціях розглянуто можливості програмних засобів імітаційного моделювання Matlab Simulink. Практична та наукова діяльність сучасного фахівця не обмежується лише вказаними програмними засобами, наведені приклади можуть бути реалізовані в інших програмних засобах комп'ютерного моделювання, наприклад AnyLogic, NetLogo та інших.

Метою методичних рекомендацій є досягнення компетентностей, передбачених освітньо-професійною програмою (ОПП), а саме здатність:

- проведення досліджень на відповідному рівні;
- застосовувати системний підхід до вирішення інженерних проблем у локомотивному господарстві;
- досліджувати, аналізувати та вдосконалювати технологічні процеси у локомотивному господарстві;
- здійснювати аналіз і синтез під час ремонту та технічного обслуговування;
- вибирати та застосовувати на практиці методи дослідження, планування та проведення необхідних експериментів; інтерпретувати результати та робити висновки щодо оптимальності рішень, що приймаються під час ремонту та технічного обслуговування локомотивів;
- використовувати математичний апарат високого рівня для технічного обслуговування та ремонту локомотивів.

Методичні рекомендації сприяють досягненню студентами таких результатів навчання:

- знати і розуміти сучасні комп'ютеризовані методи дослідження та опрацювання результатів;
- вирішувати задачі з утримання та ремонту локомотивів;
- застосовувати у професійній діяльності універсальні і спеціалізовані системи управління життєвим циклом (PLM), автоматизованого проектування (CAD), виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE);
- застосовувати необхідні методи та засоби досліджень, розробляти та аналізувати комп'ютерні моделі об'єктів дослідження, що стосуються технічного обслуговування локомотивів;
- виконувати порівняння та обґрунтування процесів ремонту та технічного обслуговування локомотивів;
- розробляти та оптимізувати параметри технологічних процесів, в тому числі з застосуванням автоматизованого комп'ютерного проектування;
- здійснювати дослідницьку та/або інноваційну діяльність у ремонті локомотивів.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ MATLAB

Matlab – це пакет прикладних програм для вирішення задач технічних обчислень і однойменна мова програмування, що використовується в цьому пакеті.

Мова Matlab є високорівневою інтерпретуємою мовою програмування, що включає засновані на матрицях структури даних, широкий спектр функ-

цій, інтегроване середовище розробки, об'єктно-орієнтовані можливості і інтерфейси до програм, написаних на інших мовах програмування.

Програмний комплекс Matlab відноситься до середнього рівня продуктів, призначених для символічної математики. Matlab - одна з найстаріших, ретельно опрацьованих і перевічених часом систем автоматизації математичних розрахунків, побудована на розширеному поданні та застосуванні матричних операцій. Це знайшло відображення і в самій назві системи – MATrix LABoratory, тобто матрична лабораторія.

Matlab має можливості як процедурного, так і об'єктноорієнтованої мови програмування Крім того, вона засобами інтерактивної розробки графічних інтерфейсів, в якому можуть присутні такі стандартні елементи, як меню, кнопки, перемикачі, лінійки прокручування і т.п.

Особливе місце серед пактів розширення Matlab займає Simulink, який є тісно інтегрованим з Matlab графічним середовищем, призначеної для моделювання та аналізу аналогових та дискретних динамічних систем.

Побудова моделей в Simulink здійснюється в інтерактивному графічному конструкторі і полягає в перетаскуванні у вікно моделі елементарних блоків з набору стандартних бібліотек та налаштуванням зв'язків між ними. При цьому автоматично створюються системи диференціальних рівнянь, що описують цю модель.

Можливість стежити за процесами, що відбуваються у системі в ході моделювання, забезпечується спеціальними пристроями спостереження, входять до складу бібліотеки Simulink, такими як, наприклад, віртуальні осцилографи та датчики.

Продукти компанії MathWorks надають всі необхідні інструменти для розробки математичних моделей. Matlab підтримує як числовий, так і символічний підхід до моделювання і забезпечує апроксимацію даних, розрахунок статистики, оптимізацію, рішення звичайних диференціальних рівнянь (ODE) і диференціальних рівнянь в приватних похідних (PDE), диференціальні та інтегральні обчислення і інші ключові математичні інструменти. Simulink додатково надає середу моделювання та імітації поведінки багатодоменних систем, а також розробки вбудованих систем.

1.1. Види, принципи та основні етапи моделювання

Прийнято виділяти такі види моделювання.

Фізичне моделювання, при якому модель і модельований об'єкт є реальні об'єкти, причому в моделі і оригіналі протікають складні процеси.

Структурно-фізичне моделювання. Моделями є схеми, графіки, креслення, діаграми, виконані спеціальними правилами їх об'єднання.

Математичне, при якому проводиться операція математичними формулами та рівняннями.

Імітаційне (програмне), при якому математична модель досліджуваного об'єкта представляється у вигляді алгоритму, а потім описується мовою програмування і реалізується на ЕОМ. Імітаційна модель - формальна, тобто виконана на деякій формальній мові опису логіки функціонування досліджуваної системи і взаємодії її окремих елементів в часі.

Принципи моделювання.

Принцип інформаційної достатності. При повній відсутності інформації про досліджувану систему побудова її моделі неможливо. При наявності повної інформації - безглуздо. Тому існує певний рівень достатності інформації при якому модель доцільно будувати.

Принцип здійсненності. Створювана модель повинна забезпечувати досяжність поставленої мети дослідження з ймовірністю відмінною від «0» і за кінцевий час.

Принцип множинності моделі. Створювана модель завжди відображає лише деякі сторони реального об'єкта, отже, для повного дослідження необхідно безліч різнопланових моделей.

Принцип агрегування. Складна система завжди має бути поєднана підсистемами (агрегатами). Для опису, яких завжди застосовні деякі стандарти і моделі. При цьому окремі агрегати можуть бути замінені на деякі числові величини або їх безлічі, при цьому не потрібно будувати їх моделі.

Основні етапи процесу моделювання:

- визначення цілей моделювання;
- розробка концептуальної моделі;
- формалізація концептуальної моделі у вигляді імітаційної моделі;
- програмна реалізація імітаційної моделі;
- планування експериментів з моделлю;
- аналіз і інтерпретація результатів моделювання;

Під метою моделювання зазвичай розуміється розрахунок деякого показника ефективності для різних варіантів реалізації моделі.

Концептуальна модель – це абстрактна модель, яка визначає структуру модельованої системи або її окремі елементи.

Концептуальна модель включає найбільш загальні принципи, серед яких виділяються два: модель статична і стохастична.

Яскравим прикладом статичної моделі є цифровий автомат, в якому чітко визначені стану автомата і правила переходу між окремими станами.

Стохастична модель завжди представляється в будь-який момент часу множинами станів, в яких може перебувати система зі своїми можливостями і відповідно вона може перейти в один з безлічі станів.

Програмна реалізація моделі – це формальний запис алгоритму на одній з мов програмування. Планування експерименту зводиться до вибору загального обсягу випробувань, при дотриманні вимог до достовірності і точності.

1.2 Визначення бібліотеки для побудови моделей системи масового обслуговування

Simulink – це графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні і гібридні, нелінійні і розривні системи.

Інженерний програмний пакет Matlab включає в себе безліч засобів для побудови моделей в самих різних предметних областях. Одним з таких засобів є інструмент StateFlow, що входить до складу комплексу Simulink. StateFlow спочатку призначений для побудови моделей реактивних систем (або кінцевих автоматів), що характеризуються великою кількістю станів, в які система переходить при настанні певних подій. Існують прийоми, що дозволяють успішно використовувати цей інструмент для моделювання СМО. Однак його застосування в цих цілях пов'язане з рядом труднощів, головними з яких є наступні факти:

- уявлення СМО у вигляді кінцевого автомата не очевидно і не однозначно (зокрема, моделювання СМО з нескінченною чергою (абстракція), може стати неможливим);

- перехід кінцевого автомата зі стану в стан не передбачає передачі будь-якої інформації, в той час як майже всяка зміна в СМО супроводжується передачею будь-якої інформації в всередині системи;

- моделювання СМО як кінцевого автомата вимагає явного визначення безлічі подій і умов, що забезпечують зміну станів системи. Це істотно ускладнює процес опису моделі і захащує її графічне представлення.

У зв'язку з перерахованими труднощами для вирішення поставленого завдання був обраний інший інструмент, що також входить до складу Simulink - бібліотека SimEvents. Ця бібліотека є набором блоків Simulink, призначених для моделювання систем дискретних подій (Discrete Event System, DES). Процес побудови моделей засобами SimEvents позбавлений недоліків, властивих StateFlow і перерахованих вище. Крім того, ця бібліотека має низку корисних властивостей і функцій:

- до складу бібліотеки входять модулі, що описують черги з різними дисциплінами обслуговування (в т.ч. з керованими пріоритетами);

- є блоки для опису різних (в т.ч. множинних) каналів обслуговування;

- для опису заявок бібліотека передбачає особливий тип даних - сутності, які дозволяють не тільки розглядати кожну заявку як самостійний цілісний предмет інтересу, а й наділяти його особливими властивостями (атрибутами).

Перераховані особливості визначають вибір бібліотеки SimEvents в якості основного інструментального засобу (поряд з Matlab і Simulink) для вирішення поставленого завдання.

ДЕТАЛІЗАЦІЯ БЛОКІВ БІБЛІОТЕКИ SIMEVENTS КОМПЛЕКСУ SIMULINK

Інженерний програмний пакет MATLAB включає до свого складу інструментальні засоби, що дозволяють будувати, моделювати і налагоджувати моделі СМО. Ці засоби представлені комплексом Simulink і входить до його складу бібліотекою блоків SimEvents.

Маючи в розпорядженні наведену схему (рис. 2.1), загальні уявлення про роботу СМО і навички роботи в Simulink, можна приступати до послідовної деталізації позначених блоків.



Рис. 2.1. Схема проектуваної моделі

Time-Based Entity Generator – блок формування розподілених у часі сигналів (рис. 2.2), що імітують послідовність на вхід системи запитів які надходять на обслуговування. Порядок генерування визначається значенням параметра Generate entities upon.

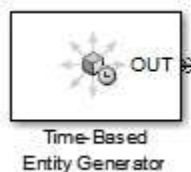


Рис. 2.2. Блок формування розподілених у часі сигналів

Intergeneration time from dialog – моменти часу генерації визначаються в залежності від параметрів в діалогових полях блоку.

Тип розподілу моментів генерації визначається полем Distribution. Можливі значення:

– Constant (постійне) – постійний час між подіями які генеруються задається в полі Period;

- Uniform (рівномірний) - випадковий рівномірний розподіл задається діапазоном в полях Minimum і Maximum;
- Exponential – експоненціальний розподіл задається параметром Mean (середнє).

При установці параметра розподілу в значення Uniform або Exponential в діалоговому вікні є також параметр Initial seed, що визначає набір випадкових чисел що генеруються. Для фіксованого значення цього параметра випадкова послідовність при наступному запуску моделі повториться. Характерно, значення цього параметра встановлюється в велике (наприклад, п'ятизначне) непарне число.

Intergeneration time from port t – моменти часу генерації визначаються через сигнальний порт t, інформація з якого зчитується при старті моделювання і в кожен момент генерації нової сутності. Сигнал повинен бути подієвим (event-based).

Якщо виставлено це значення, то у блоку з'являється додатковий сигнальний порт t.

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці Statistics в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація відповідно:

- #d – число сутностей які залишили блок після початку моделювання;
- w – середній час між генераціями сутностей.

Event-Based Random Number – блок формування тимчасових інтервалів (рис. 2.3), які використовуються в якості часів обслуговування заявок в обслуговуючому приладі.

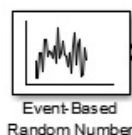


Рис. 2.3. Блок формування тимчасових інтервалів

FIFO Queue – блок черги (рис. 2.4), який одночасно зберігає до N сутностей, де N – значення параметра Capacity (Ємність). Блок намагається випустити заявку через вихідний порт OUT, однак якщо порт OUT блокований, то заявка залишається в блоці. Якщо в блоці зберігаються кілька заявок, то сутності залишають блок відповідно до дисципліни першим прийшов – першим вийшов (first in – first out (FIFO)). Якщо блок вже зберігає N сутностей, то вхідний порт IN блоку не доступний.



Рис. 2.4. Блок черги

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці Statistics в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація:

- #d – число сутностей які залишили блок через порт OUT після початку моделювання;
- #n – число сутностей в черзі;
- w – середній час очікування в цьому блоці для всіх сутностей, які залишили блок через будь-який порт;
- len – середнє число сутностей в черзі за часом, тобто середній за часом сигнал #n.

Блок N-Server (рис. 2.5) – обслуговує одночасно одну або більше заявок за деякий інтервал часу і потім намагається випустити заявку через вихідний порт OUT. Якщо порт OUT блокований, то заявка залишається в блоці до тих пір поки вихідний порт не розблокується.

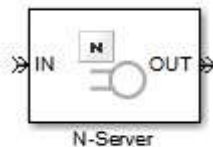


Рис. 2.5. Канал обслуговування

Час обслуговування (Service Time) визначається через параметри, атрибути або сигнали в залежності від значення параметра Service Time From. Блок визначає час обслуговування сутності при її надходженні. Часи обслуговування визначаються в секундах.

Значення параметра Service Time From:

- Dialog – значення часу обслуговування задаються в полі параметра Service Time;
- Attribute – значення часу обслуговування задаються атрибутом, ім'я якого зазначено в полі параметра Attribute name;
- Signal port t – значення часу обслуговування задаються через сигнальний порт t. Сигнал повинен бути подієвим (event-based). Якщо виставлено це значення, то у блоку з'являється додатковий сигнальний порт t.

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці Statistics в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація:

- #d – число сутностей залишили блок через порт OUT після початку моделювання;
- #n – число сутностей в сервері;
- w – середній час очікування в цьому блоці для всіх сутностей, які залишили блок;
- util – утилізація сервера, тобто частка часу моделювання, використана на зберігання сутностей.

Для завершення шляхів використовується блок Entity Sink (рис. 2.6).

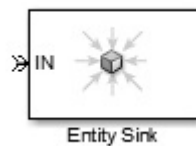


Рис. 2.6. Приймач заявок які обслуговані

Параметри блоку:

– Input port available for entity arrivals – якщо вибрати цю опцію, то блок приймає суті прибувають, в іншому випадку – блок суті не приймає, а при спробі прибуття суті видається повідомлення про помилку;

– Report number of entities arrived, #a – при виборі параметра у блоку з'являється сигнальний порт #a, на якому після кожного прибуття суті видається інформація про кількість прийнятих блоком сутностей. Початкове значення сигналу після початку моделювання до першого поновлення блоку дорівнює 0.

Блок Path Combiner (рис. 2.7) дозволяє об'єднати кілька шляхів в один. Блок приймає суті через один з декількох вхідних портів і випускає їх через єдиний вихідний порт. Кількість вхідних портів визначається параметром Number of entity input ports.

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці Statistics в панелі властивостей блоку:

- #d – число сутностей залишили блок після початку моделювання;
- last – індекс вхідного порту, який був доступний в момент прибуття останньої суті. Початкове значення 0.

Для виведення результатів моделювання у вигляді цифр використовується блок Display (рис. 2.8) з розділу бібліотеки Simulink Sinks.

Отже блоки бібліотеки SimEvents є потужним, гнучким, але легким в освоєнні інструментом для опису моделей систем масового обслуговування.

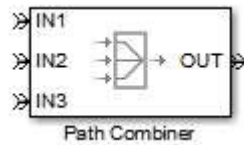


Рис. 2.7. Об'єднувач шляхів



Рис. 2.8. Блок виведення статистики

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЦЕХУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

У даному розділі буде наведено послідовний опис кроків для створення імітаційної моделі системи масового обслуговування на прикладі цеху з технічного обслуговування ТО-2 тепловозів серії 2ТЭ116.

Після запуску програмного забезпечення Matlab відкриється головне діалогове вікно програми. Для того щоб створити модель за допомогою бібліотеки Simulink потрібно зробити кроки зображені на рис. 3.1. а саме, «вкладка New» → «кнопка Simulink Model».

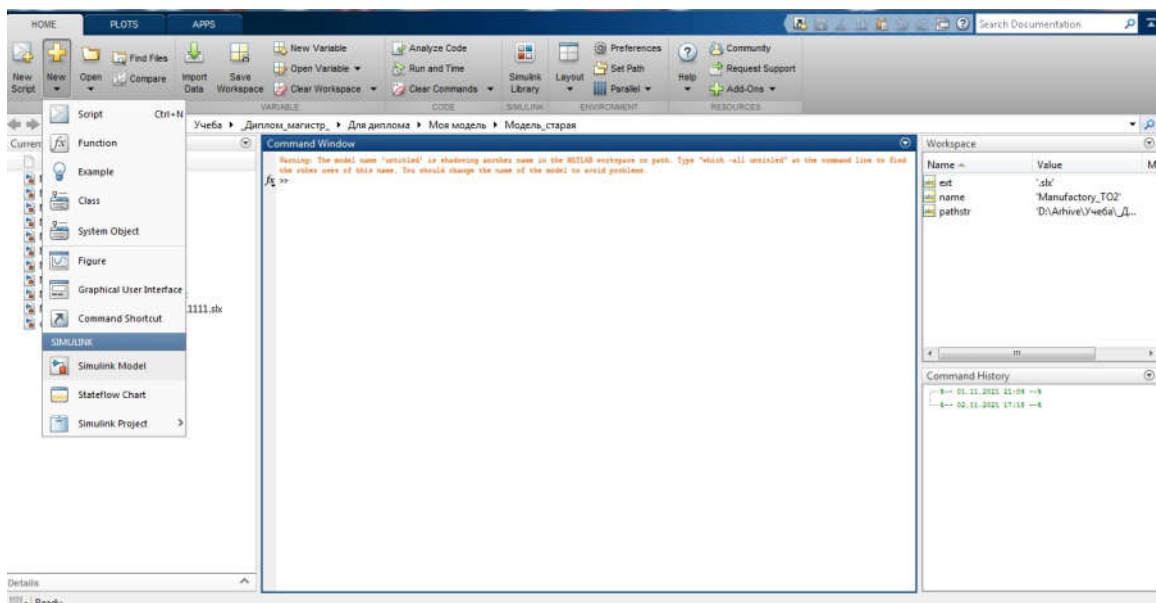


Рис. 3.1. Головне діалогове вікно Matlab

Після цих кроків відкриється діалогове вікно зображене на рис. 3.2, яке призначене для створення імітаційних моделей. У цьому вікні на панелі інструментів потрібно натиснути кнопку Library Browser для того, щоб обрати потрібну нам бібліотеку Simulink.

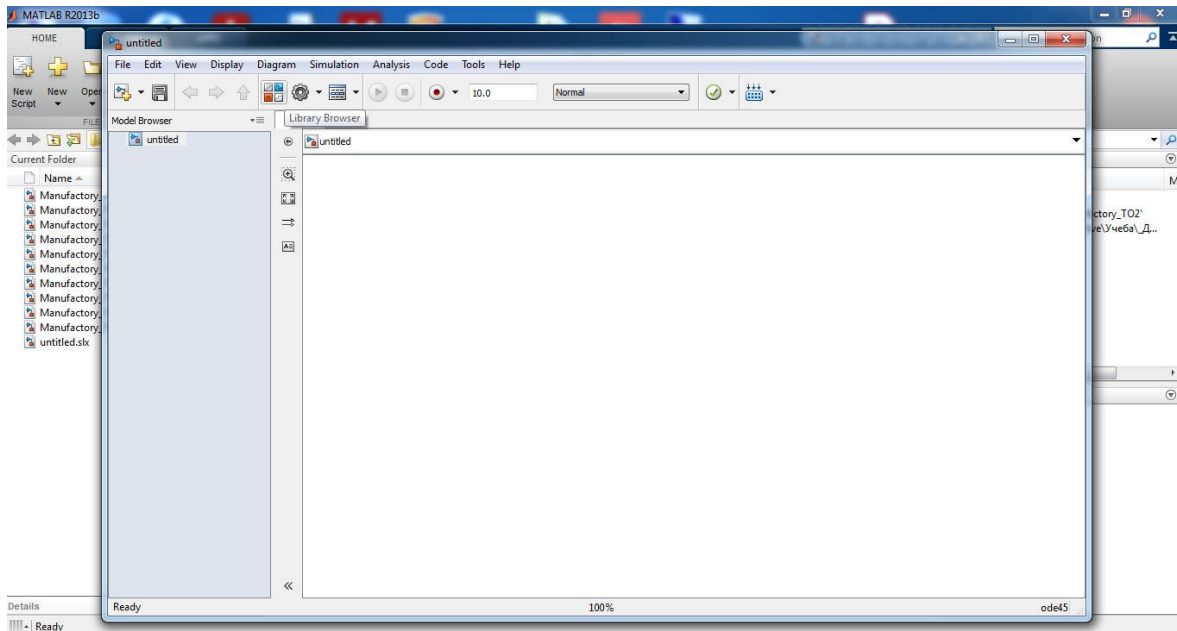


Рис. 3.2. Робоче вікно моделювання Simulink

Діалогове вікно зображене на рис. 3.3 дає можливість обрати для роботи потрібну бібліотеку. У нашому випадку це бібліотека SimEvents призначена для моделювання систем масового обслуговування.

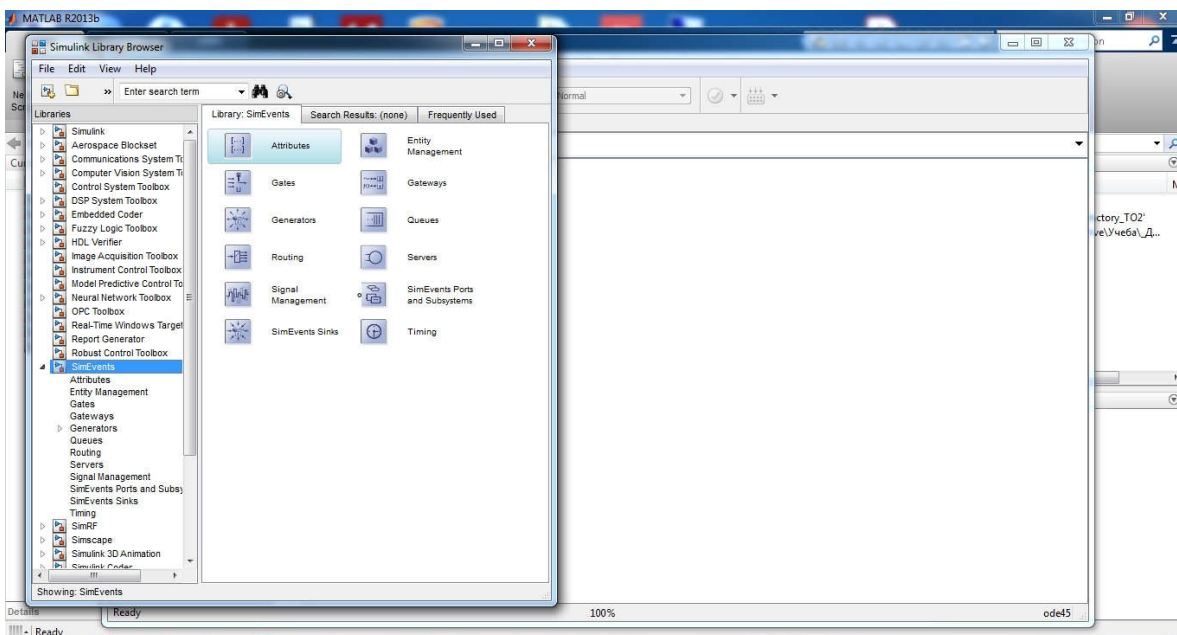


Рис. 3.3. Діалогове вікно вибору бібліотеки Simulink

Бібліотека SimEvents має блоки які описують та виконують процеси у системі масового обслуговування.

Для того, щоб почати будувати модель треба потрібні нам блоки, наприклад блок черги зображений на рис. 3.4 за допомогою курсору перенести до робочого вікна моделювання Simulink (рис. 3.2).

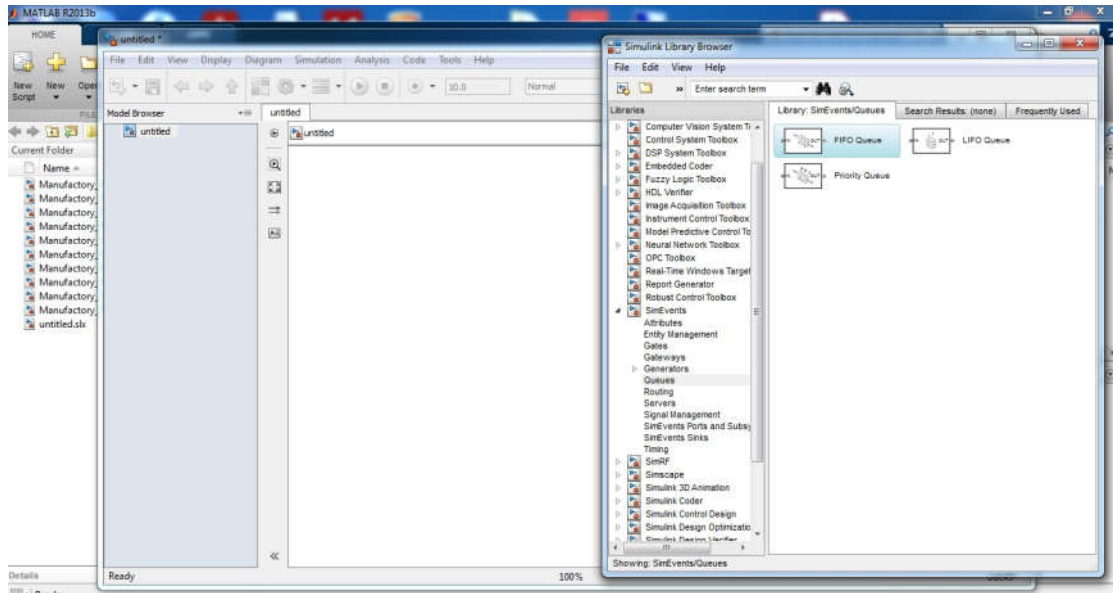


Рис. 3.4. Вибір блоків для моделювання

Після вибору та переносу визначених блоків моделювання до робочого вікна моделювання зображеного на рис. 3.5, розташовуємо блоки у області моделювання для їх зв'язку та наочного сприйняття. Встановлення зв'язку блоків відображено на рис. 3.6.

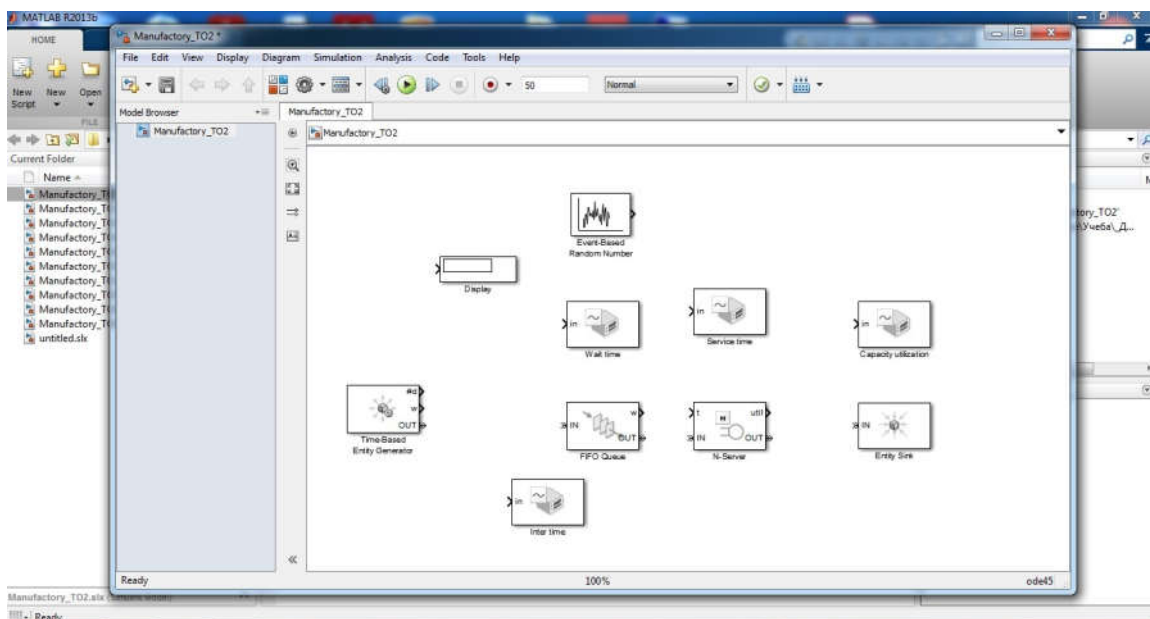


Рис. 3.5. Загальний вигляд блоків моделювання

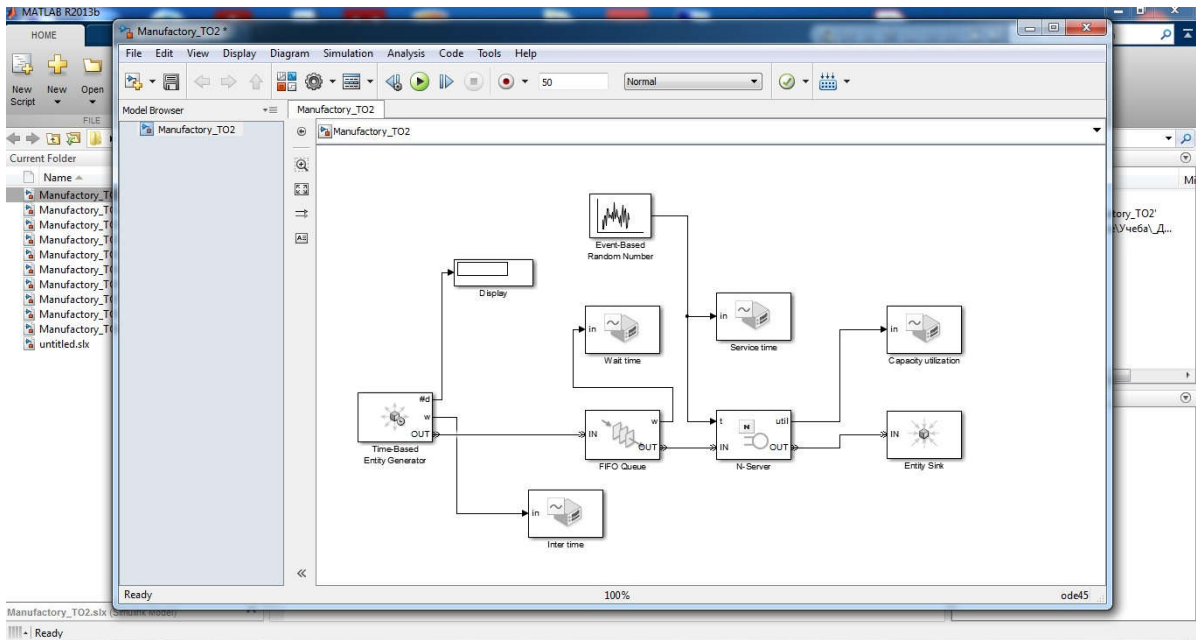


Рис. 3.6. Встановлення зв'язку блоків моделювання

Таким чином на рис. 3.6 відображена модель роботи цеху технічного обслуговування ТО-2 представлена за допомогою системи масового обслуговування та засобів імітаційного моделювання. Але для функціонування даної моделі потрібно задати вхідні параметри до основних блоків системи.

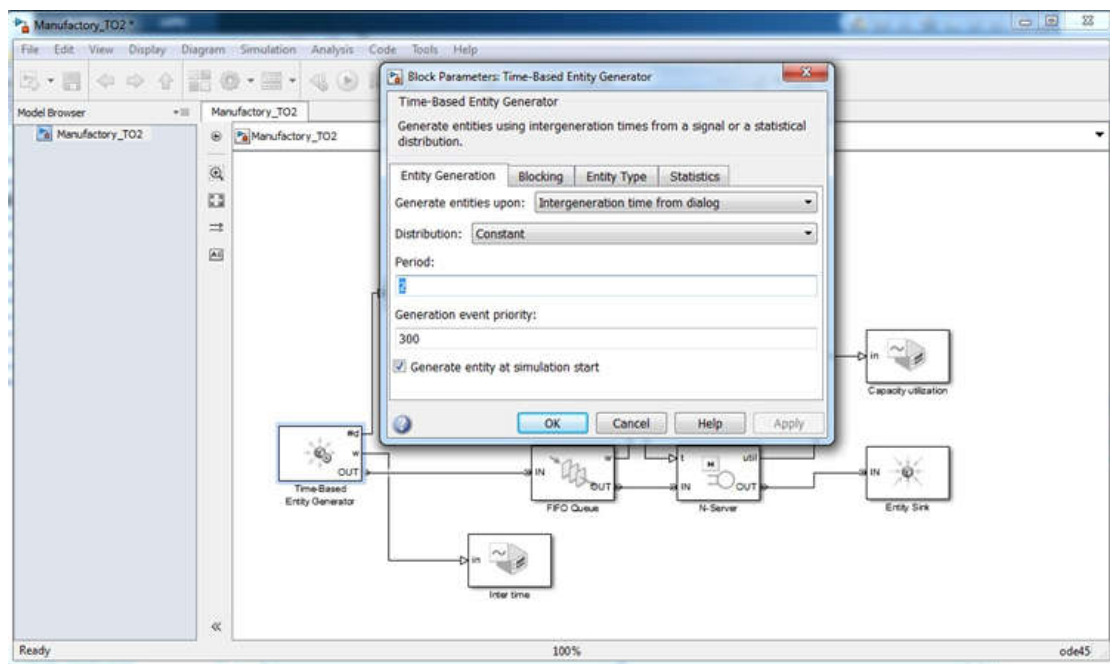


Рис. 3.7. Встановлення значення періоду надходження заявок

Як вже згадувалось вище, блок Time-Based Entity Generator (рис. 2.2), це блок формування розподілених у часі сигналів, що імітують послідовність на вхід системи запитів які надходять на обслуговування. У нашому випадку,

цей блок відповідає за те, через який період будуть надходити тепловози (заявки) на технічне обслуговування. У графі «Period» зображеному на рис. 3.7 ставимо значення 2, тим самим вказуючи, що кожні дві години буде надходити тепловоз (заявка) на технічне обслуговування (до нашої системи).

На рис. 3.8 зображено діалогове вікно для введення параметрів блоку черги. У цьому вікні потрібно вказати ємність черги, у нашому випадку черга повинна бути нескінченно, тому що тепловози (заявки) які надійшли на технічне обслуговування (до системи) повинні бути обслуговані. У графі «Capacity» вводимо значення «inf».

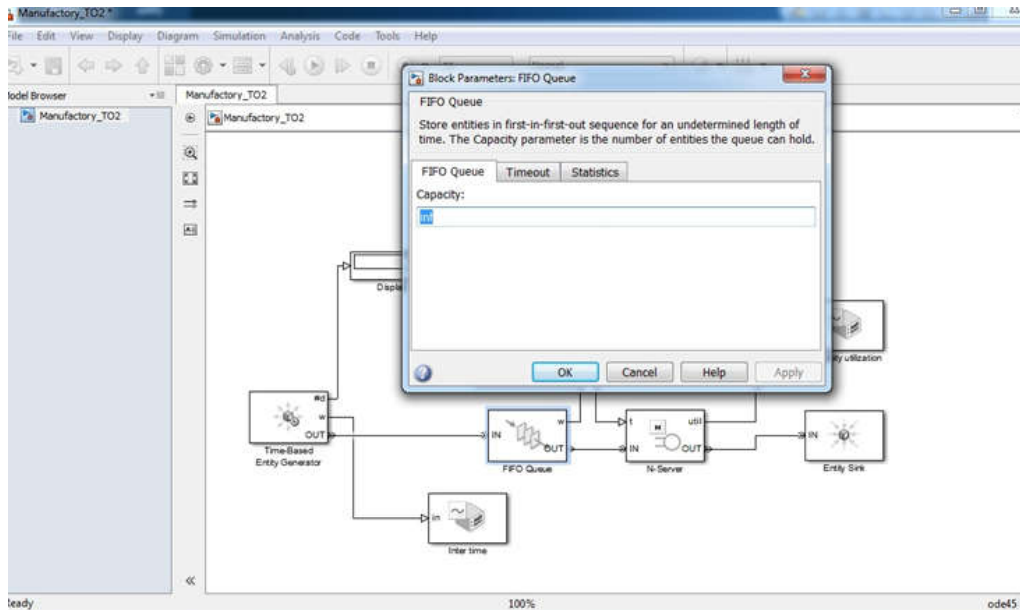


Рис. 3.8. Встановлення значення черги

На рис. 3.9 відображено введення значення кількості обслуговуючих каналів у блоці N-Server. Для експерименту приймаємо значення «Numbers of servers» у кількості 2, тобто імітуємо, що у цеху технічного обслуговування знаходиться дві ремонтні позиції (два стійла) для обслуговування тепловозів.

Додатковим блоком для блока N-Servers є блок Event-Based Random Number (рис. 2.3) який формує тимчасові інтервали в якості часу обслуговування заявок в каналі обслуговування. На рис. 3.10 зображено діалогове вікно параметрів блока Event-Based Random Number. У графах «Minimum» та «Maximum» встановлюємо значення 1,5 та 2,5 відповідно, тим самими вказуючи блоку N-Servers, що одне замовлення має обслуговуватись в каналі обслуговування в межах 1,5 – 2,5 годин.

Після встановлення всіх вхідних параметрів блоків моделювання можна перейти до моделювання роботи системи.

На панелі інструментів зображеній на рис. 3.11 встановлюємо час моделювання 50 годин та натискаючи кнопку «Run» запускаємо моделювання.

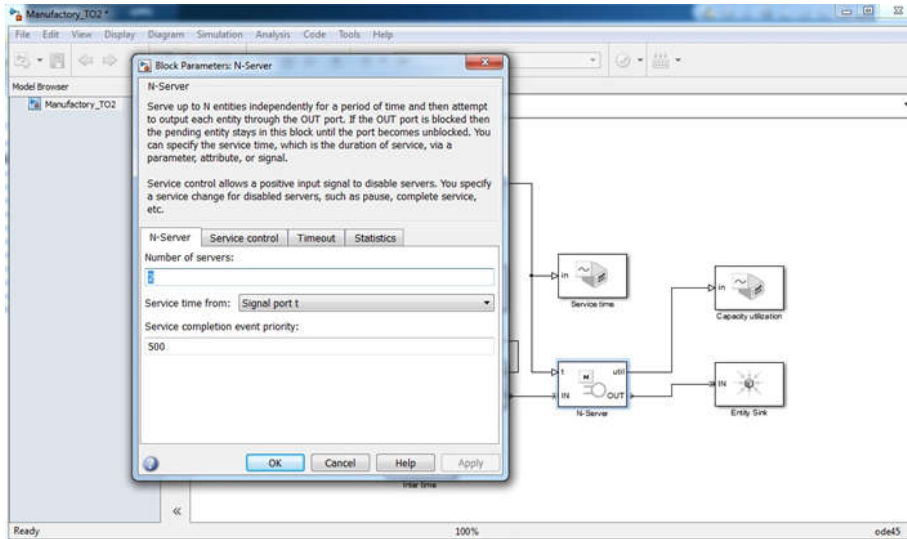


Рис. 3.9. Введення значення кількості каналів обслуговування

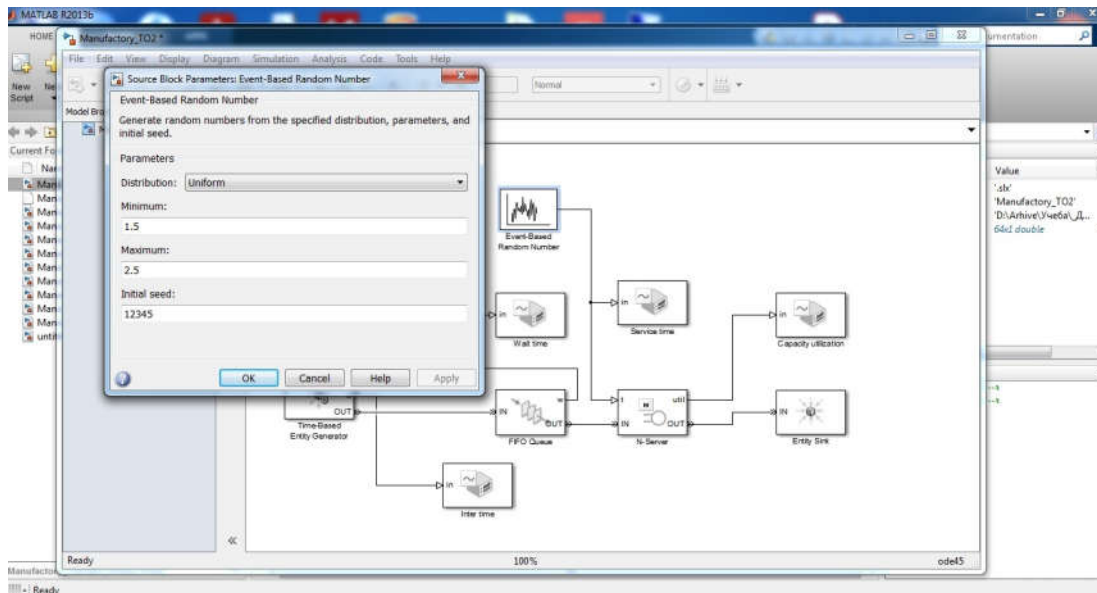


Рис. 3.10. Встановлення меж обслуговування заявок

Зачекавши декілька секунд, після завершення моделювання на екрані з'являться вікна зображені на рис. 3.12, які відображають статистику по роботі моделі завдяки блокам *inter time*, *wait time*, *service time* та *capacity utilization*.

Блок «*inter time*» вказує на те, скільки заявок надійшло до системи за час моделювання. Блок «*service time*» вказує на те, скільки часу знадобилось для обслуговування кожної з заявок. Блок «*wait time*» вказує на те, який час заявки перебували в черзі на обслуговування. Блок «*capacity utilization*» вказує на завантаження системи обслуговування.

За вище згаданими блоками наочно бачимо критерії за якими можливо оцінювати роботу системи.

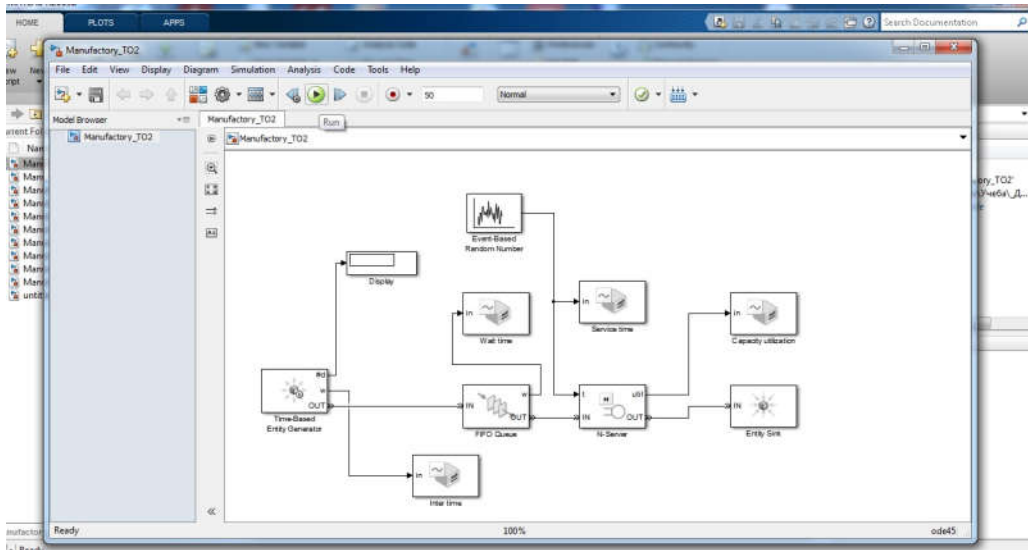


Рис. 3.11. Запуск моделювання системи

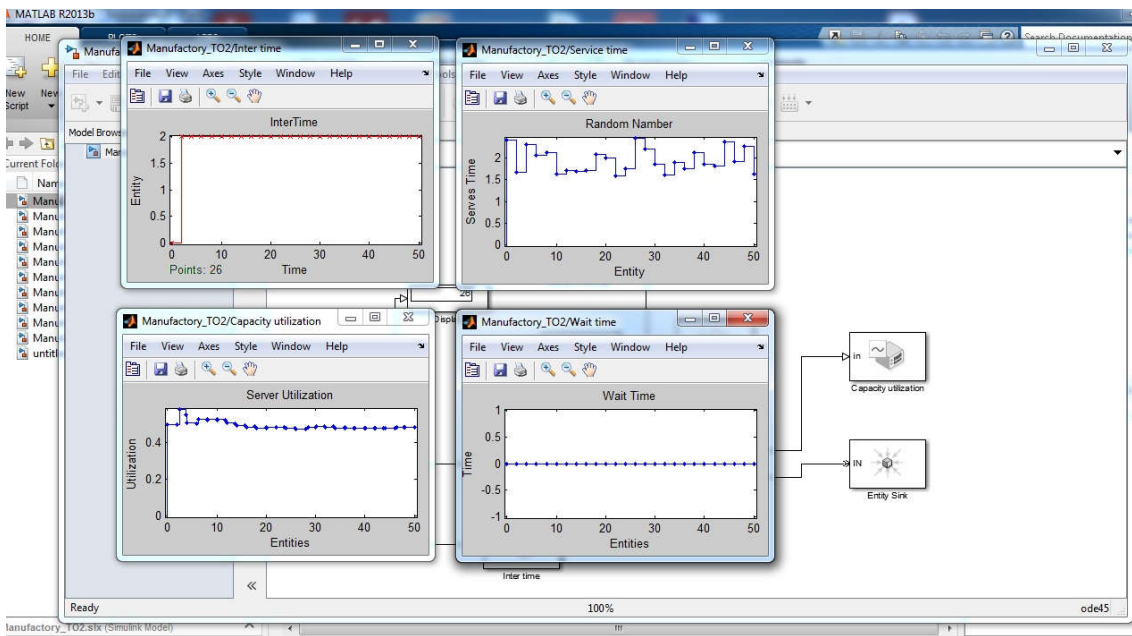


Рис. 3.12. Статистичні дані роботи системи

Так, у разі двох каналів обслуговування, нескінченній черзі та надходженням тепловозів (заявок) на технічне обслуговування (до системи) через кожні 2 години, та інших вище заданих параметрах системи бачимо, що при моделюванні роботи системи протягом 50 годин, критерії оцінки роботи даної системи становлять:

- завантаження цеха технічного обслуговування (системи) тепловозів – 50%;
- час очікування тепловозів (заявок) в черзі – 0 год;
- час обслуговування кожної з заявок – в межах 1,5 – 2,5 год;
- період надходження тепловозів (заявок) до системи – 2 год.

Отже, вище наведений приклад дає змогу дуже швидко оцінити процес роботи цеху технічного обслуговування (системи масового обслуговування) тепловозів. Змінюючи вхідні параметри блоків моделювання можна побачити, як зміняться критерії оцінки системи.

На рис. 3.13 наведена схема більш складної імітаційної моделі. Це модель роботи ремонтного підрозділу локомотивного депо, яка включає в себе лінії технічного обслуговування ТО-3 та поточних ремонтів ПР1, ПР-3 з урахуванням непланових ремонтів.

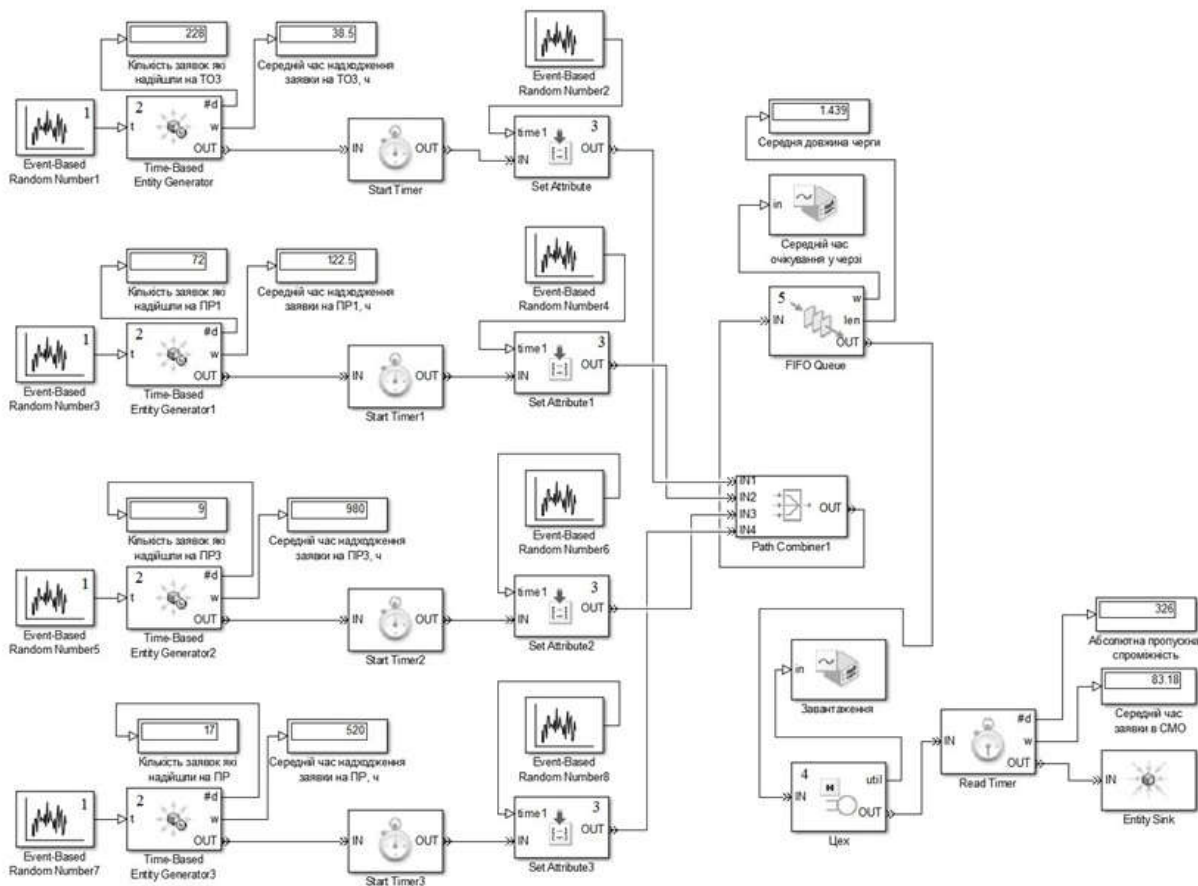


Рис. 3.13. Схема моделі роботи ремонтного підрозділу локомотивного депо

Таким чином, імітаційне моделювання як загальний універсальний метод характеризується такими перевагами:

- дозволяє вирішувати складні завдання;
- дає можливість дослідити особливості функціонування реальної системи у різноманітних умовах, що включають критичні та аварійні стани;
- суттєво скорочує вартість та тривалість випробувань порівняно з натурним експериментом, з фізичним моделюванням, тобто економить ресурси;
- дозволяє включати результати природних випробувань компонентів реальної системи;

- дозволяє досягати кращі рішення за рахунок гнучкості та легкості варіювання структури, алгоритмів та параметрів;
- є єдиним практично реалізованим методом дослідження складних систем.

Список рекомендованої літератури

1. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. Москва : ДМК Пресс, 2012. 768 с.
2. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. Москва : Питер. 2002. 528 с.
3. Боднар Б. Е. Моделирование организации ремонта локомотивов по методам теории систем массового обслуживания / Б. Е. Боднар, А. Б. Очкасов, Е. Б. Боднар, Т. С. Гришечкина, М. В. Очеретнюк // Експлуатація та ремонт засобів транспорту // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2018. № 5 (77). С. 28–40.
4. Берестовой А. М. Моделирование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов / А. М. Берестовой, А. А. Лямзин // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Серія: Технічні науки : зб. наук. пр. Маріуполь, 2003. Вип. 13. С. 276–280.
5. Bodnar B. System Choice of the Technical Maintenance of Locomotives Equipped with on-Board Diagnostic Systems / B. Bodnar, O. Ochkasov // Transport Means : Proceedings of 21st International Scientific Conference, September 20–22, 2017 / Kaunas University of Technology Klaipėda University [and others]. Juodkrante, Kaunas, Lithuania, 2017. Part I. P. 43–47.
6. Васильев А. В. Matlab. Практический подход. Москва : Наука и Техника, 2015. 448 с.

Навчальне видання

Бобирь Дмитро Валерійович
Очкасов Олександр Борисович
Очеретнюк Максим Вікторович

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В
СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ.
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ МАСОВОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Методичні рекомендації до практичних занять
та дипломного проектування

Електронне видання