

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Кафедра прикладної математики та інформатики

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Методи та засоби моделювання і
представлення даних та систем»**

**для студентів ОС «Магістр»
галузі знань 12 Інформаційні технології
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
денної та заочної форм навчання**

Луцьк, 2023

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Методи та засоби моделювання і представлення даних та систем» для студентів ОС «Магістр» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки денної та заочної форм навчання / уклад. Т. В. Алтухова. – Луцьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. – 63 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Методи та засоби моделювання і представлення даних та систем» містять рекомендації щодо їх виконання із зазначенням завдань, основні вимоги до формування звіту та питання до самоконтролю. Лабораторні роботи виконуються студентами згідно до заданого варіанту.

Укладач: Алтухова Т. В., к. т. н, доцент кафедри прикладної математики та інформатики ДВНЗ «ДонНТУ»

Рецензент: Петелін Е. А., к.т.н., доцент кафедри ЕТ

Відповідальний за випуск: Маслова Н. О., к. т. н., проф., завідувачка кафедри прикладної математики та інформатики ДВНЗ «ДонНТУ»

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 2 від 24.10.2023 р.

Розглянуто на засіданні кафедри прикладної математики та інформатики ДВНЗ «ДонНТУ» протокол № 10 від 18.10.2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ВІДНОСНО ЗАДАНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ	5
<i>Запитання для самоперевірки</i>	19
Лабораторна робота №2. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТА АПРОКСИМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.....	21
<i>Запитання для самоперевірки</i>	35
Лабораторна робота №3. РОЗРОБКА ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МЕРЕЖ ПЕТРІ	36
<i>Запитання для самоперевірки</i>	44
Лабораторна робота №4. АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ММО	46
<i>Запитання для самоперевірки</i>	49
Лабораторна робота №5. АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ.....	50
<i>Запитання для самоперевірки</i>	52
Лабораторна робота №6. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ..	54
<i>Запитання для самоперевірки</i>	55
Лабораторна робота №7. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МЕТОДІВ.....	57
<i>Запитання для самоперевірки</i>	58
Лабораторна робота №8. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ ПЛАНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ	59
<i>Запитання для самоперевірки</i>	61
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

На сьогоднішній день сучасні методи та засоби моделювання та представлення даних та систем мають значний вплив при проведенні будь-яких досліджень як студентами, так і науковцями в цілому. Моделювання є найбільш ефективним способом здійснення теоретичних і експериментальних досліджень враховуючи різноманітність сфер застосування як на етапах побудови моделей, так і при їх впровадженні, та з кожним роком його можливості змінюються саме з розвитком математичних методів та інформаційних технологій.

Розробка сучасних моделей передбачає від студентів та науковців як теоретичних знань, та і застосування практичного досвіду і творчого підходу до розв'язку складних задач та вміння правильно генерувати отримані навички саме в процесі виконання досліджень різноманітних систем та процесів. Тому використання сучасних інформаційних технологій моделювання забезпечить полегшення і прискорення процесу розробки і дослідження моделей в якості аналогів реальних об'єктів, процесів і явищ та дозволить ефективно сприйняття інформації, яка буде отримуватися від експертів в різних галузях.

Методичні вказівки дозволять студентам систематизувати отримані знання та практичні навички із застосування сучасних методів та засобів моделювання та представлення даних та систем. Під час вибору варіанту студент повинен узгодити його з керівником. Захист лабораторних робіт виконується після здачі студентом і перевірки її викладачем та супроводжується виступом з презентацією.

Лабораторна робота №1

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ВІДНОСНО ЗАДАНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ

Мета: Отримати практичні навички виконання ідентифікації експериментальних даних відповідно за заданими законами розподілу

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Провести ідентифікацію експериментальних даних та оцінювання параметрів закону розподілу (табл. 1.1) за критеріями χ^2 (критерій узгодженості Пірсона) та λ (критерій Колмагорова-Смірнова) за даними спостережень (табл. 1.2-1.3). Зробити висновки за отриманими результатами виконаних розрахунків. Розрахунки виконувати засобами Mathcad або із застосуванням мови програмування C++/C#, Java, Python (за узгодженням з викладачем).

Таблиця 1.1 – Задані закони розподілу

Варіант	Закон розподілу для виконання завдання	
	критерій χ^2	критерій λ
1	рівномірний	експоненціальний
2	нормальний	логнормальний
3	експоненціальний	розподіл Вейбула
4	логнормальний	розподіл Пуассона
5	розподіл Вейбула	біноміальний
6	розподіл Пуассона	експоненціальний
7	біноміальний	логнормальний
8	рівномірний	розподіл Вейбула
9	нормальний	розподіл Пуассона
10	експоненціальний	біноміальний
11	логнормальний	рівномірний
12	розподіл Пуассона	нормальний
13	розподіл Вейбула	розподіл Пуассона
14	логнормальний	біноміальний
15	рівномірний	експоненціальний

Таблиця 1.2 – Вихідні дані до лабораторної роботи №1

Варіант	Експериментальні дані (критерій Колмагорова-Смірнова)									
1	14	12	8	10	11	9	7	8	9	4
	8	6	5	5	7	5	5	4	6	7
	7	5	5	4	6	4	4	3	6	4
	12	10	7	8	10	8	6	7	8	4
	13	11	7	9	10	8	5	6	8	4
	7	5	4	4	6	4	3	3	5	6
2	3	3	2	4	2	2	1	4	2	6
	8	5	6	8	6	4	5	6	2	9
	13	11	7	9	10	8	5	6	8	4
	5	4	4	6	4	3	3	5	6	2
	2	2	1	4	2	2	1	3	3	3
	7	5	6	7	5	4	4	6	1	6
3	10	8	5	6	8	6	4	5	6	1
	4	2	2	1	4	2	2	1	3	3
	3	1	2	1	3	1	1	0	3	2
	8	6	4	5	6	4	3	3	5	7
	14	9	5	4	6	4	4	3	6	4
	5	3	3	2	4	2	2	2	4	8
4	2	0	1	0	2	0	1	0	2	2
	7	5	4	4	6	4	3	3	5	1
	0	0	1	0	0	7	0	9	3	6
	0	3	3	2	6	4	3	3	5	9
	16	14	10	12	13	11	9	10	11	6
	10	8	7	7	9	7	7	6	8	9
5	9	7	7	6	8	6	6	5	8	6
	14	12	9	10	12	10	8	9	10	6
	15	13	9	11	12	10	7	8	10	6
	9	7	6	6	8	6	5	5	7	8
	5	5	4	6	4	4	3	6	4	8
	10	7	8	10	8	6	7	8	4	11
6	15	13	9	11	12	10	7	8	10	6
	7	6	6	8	6	5	5	7	8	4
	4	4	3	6	4	4	3	5	5	5
	5	3	3	2	4	2	2	2	4	6
	2	0	1	0	2	0	1	0	2	4
	3	1	2	1	3	1	1	0	3	4
7	8	6	4	5	6	4	3	3	5	8
	2	1	3	1	1	0	3	2	1	0
	4	5	6	4	3	3	5	7	3	3
	6	7	9	7	4	5	7	2	4	4
	3	2	4	2	2	2	4	8	2	1
	1	0	2	0	1	0	2	2	1	6
8	4	4	6	4	3	3	5	1	3	2
	1	0	0	7	0	9	3	6	0	0
	3	2	6	4	3	3	5	9	3	2
	6	4	2	12	2	9	6	5	2	6
	7	8	10	8	6	7	8	6	6	6
	9	11	12	10	7	8	10	3	7	7

Продовження табл. 1.2 -

Варіант	Експериментальні дані (критерій Колмагорова-Смірнова)									
9	4	4	6	4	3	3	5	6	3	2
	2	1	4	2	2	1	3	2	2	0
	3	2	4	2	2	2	4	0	0	1
	5	6	8	6	4	5	6	2	3	4
	9	11	12	10	7	8	10	6	5	7
	4	4	6	4	3	3	5	4	8	2
10	4	5	6	4	3	3	5	5	11	3
	6	7	9	7	4	5	7	2	5	4
	3	2	4	2	2	2	4	6	2	1
	1	0	2	0	1	0	2	4	3	9
	2	1	3	1	1	0	3	4	8	0
	4	5	6	4	3	3	5	8	11	3
11	12	10	7	8	10	8	6	7	8	8
	15	13	9	11	12	10	7	8	10	11
	14	12	8	10	11	9	7	8	9	6
	8	6	5	5	7	5	5	4	6	4
	7	5	5	4	6	4	4	4	6	5
	12	10	7	8	10	8	6	7	8	6
12	15	13	9	11	12	10	7	8	10	7
	5	3	3	2	4	2	2	2	4	2
	0	2	2	1	0	3	3	2	0	3
	0	2	2	1	0	8	5	6	4	5
	4	2	2	1	4	2	2	1	3	11
	5	3	3	2	4	2	2	2	4	3
13	6	4	3	3	5	3	3	2	4	2
	9	7	5	6	7	5	4	4	6	2
	3	1	2	1	3	1	1	0	3	2
	7	5	4	4	6	4	3	3	5	3
	2	0	1	0	2	0	1	0	2	4
	3	1	2	1	3	1	1	0	3	7
14	10	8	5	6	8	6	4	5	6	1
	4	2	2	1	4	2	2	1	3	5
	4	4	6	4	3	3	5	6	2	2
	2	1	4	2	2	1	3	3	3	0
	5	6	7	5	4	4	6	1	6	3
	2	1	0	0	1	0	0	4	9	0
15	5	6	8	6	4	5	6	1	4	4
	2	1	4	2	2	1	3	3	2	0
	2	1	3	1	1	0	3	2	1	0
	4	5	6	4	3	3	5	7	3	3
	7	9	10	8	5	6	8	4	3	5
	4	4	6	4	3	3	5	4	8	2

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до лабораторної роботи №1

№ Варіанту	Експериментальні дані (критерій узгодженості Пірсона)												
1	6,236	12,25	11,005	7,012	9,18	16,001	4,369	14,22	10,15	7,019	8,147	6,012	7,345
	6,660	13,083	11,753	7,489	9,804	17,089	4,666	15,187	10,840	7,496	8,701	6,421	7,844
	7,113	13,973	12,553	7,998	10,471	18,251	4,983	16,220	11,577	8,006	9,293	6,857	8,378
	7,597	14,923	13,406	8,542	11,183	19,492	5,322	17,323	12,365	8,550	9,925	7,324	8,948
	8,060	15,833	14,224	9,063	11,865	20,681	5,647	18,379	13,119	9,072	10,530	7,771	9,493
	8,608	16,910	15,191	9,679	12,672	22,088	6,031	19,629	14,011	9,689	11,246	8,299	10,139
	8,780	17,248	15,495	9,873	12,925	22,529	6,152	20,022	14,291	9,883	11,471	8,465	10,342
	8,956	17,593	15,805	10,070	13,184	22,980	6,275	20,422	14,577	10,080	11,700	8,634	10,549
2	9,565	18,789	16,880	10,755	14,080	24,543	6,701	21,811	15,568	10,766	12,496	9,221	11,266
	10,868	21,349	19,179	12,220	15,998	27,886	7,614	24,782	17,689	12,232	14,198	10,477	12,800
	12,669	24,886	22,357	14,245	18,650	32,507	8,876	28,888	20,620	14,259	16,551	12,214	14,922
	7,326	13,340	12,095	8,102	10,270	17,091	5,459	15,310	11,240	8,109	9,237	7,102	8,435
	7,750	14,173	12,843	8,579	10,894	18,179	5,756	16,277	11,930	8,586	9,791	7,511	8,934
	8,203	15,063	13,643	9,088	11,561	19,341	6,073	17,310	12,667	9,096	10,383	7,947	9,468
	8,687	16,013	14,496	9,632	12,273	20,582	6,412	18,413	13,455	9,640	11,015	8,414	10,038
	9,150	16,923	15,314	10,153	12,955	21,771	6,737	19,469	14,209	10,162	11,620	8,861	10,583
3	9,698	18,000	16,281	10,769	13,762	23,178	7,121	20,719	15,101	10,779	12,336	9,389	11,229
	9,870	18,338	16,585	10,963	14,015	23,619	7,242	21,112	15,381	10,973	12,561	9,555	11,432
	10,046	18,683	16,895	11,160	14,274	24,070	7,365	21,512	15,667	11,170	12,790	9,724	11,639
	10,655	19,879	17,970	11,845	15,170	25,633	7,791	22,901	16,658	11,856	13,586	10,311	12,356
	11,958	22,439	20,269	13,310	17,088	28,976	8,704	25,872	18,779	13,322	15,288	11,567	13,890
	13,759	25,976	23,447	15,335	19,740	33,597	9,966	29,978	21,710	15,349	17,641	13,304	16,012
	8,416	14,430	13,185	9,192	11,360	18,181	6,549	16,400	12,330	9,199	10,327	8,192	9,525
	8,840	15,263	13,933	9,669	11,984	19,269	6,846	17,367	13,020	9,676	10,881	8,601	10,024

Продовження табл. 1.2 –

№ Варіанту	Експериментальні дані (критерій узгодженості Пірсона)												
4	9,31	5,623	6,812	8,312	8,042	9,17	10,22	10,34	9,189	6,006	7,095	7,196	7,348
	9,943	6,005	7,275	8,877	8,589	9,794	10,915	11,043	9,814	6,414	7,577	7,685	7,848
	10,619	6,414	7,770	9,481	9,173	10,460	11,657	11,794	10,481	6,851	8,093	8,208	8,381
	11,341	6,850	8,298	10,126	9,797	11,171	12,450	12,596	11,194	7,316	8,643	8,766	8,951
	12,033	7,268	8,805	10,743	10,394	11,852	13,209	13,364	11,877	7,763	9,170	9,301	9,497
	12,851	7,762	9,403	11,474	11,101	12,658	14,108	14,273	12,684	8,291	9,794	9,933	10,143
	13,108	7,917	9,591	11,703	11,323	12,911	14,390	14,559	12,938	8,456	9,990	10,132	10,346
	13,371	8,076	9,783	11,937	11,550	13,170	14,678	14,850	13,197	8,626	10,190	10,335	10,553
5	14,280	8,625	10,448	12,749	12,335	14,065	15,676	15,860	14,094	9,212	10,882	11,037	11,270
	16,225	9,799	11,872	14,486	14,015	15,981	17,811	18,020	16,014	10,467	12,365	12,541	12,806
	18,914	11,423	13,839	16,886	16,338	18,629	20,762	21,006	18,668	12,201	14,414	14,619	14,928
	10,400	6,713	7,902	9,402	9,132	10,260	11,310	11,430	10,279	7,096	8,185	8,286	8,438
	11,033	7,095	8,365	9,967	9,679	10,884	12,005	12,133	10,904	7,504	8,667	8,775	8,938
	11,709	7,504	8,860	10,571	10,263	11,550	12,747	12,884	11,571	7,941	9,183	9,298	9,471
	12,431	7,940	9,388	11,216	10,887	12,261	13,540	13,686	12,284	8,406	9,733	9,856	10,041
	13,123	8,358	9,895	11,833	11,484	12,942	14,299	14,454	12,967	8,853	10,260	10,391	10,587
6	13,941	8,852	10,493	12,564	12,191	13,748	15,198	15,363	13,774	9,381	10,884	11,023	11,233
	14,198	9,007	10,681	12,793	12,413	14,001	15,480	15,649	14,028	9,546	11,080	11,222	11,436
	14,461	9,166	10,873	13,027	12,640	14,260	15,768	15,940	14,287	9,716	11,280	11,425	11,643
	15,370	9,715	11,538	13,839	13,425	15,155	16,766	16,950	15,184	10,302	11,972	12,127	12,360
	17,315	10,889	12,962	15,576	15,105	17,071	18,901	19,110	17,104	11,557	13,455	13,631	13,896
	20,004	12,513	14,929	17,976	17,428	19,719	21,852	22,096	19,758	13,291	15,504	15,709	16,018
	11,490	7,803	8,992	10,492	10,222	11,350	12,400	12,520	11,369	8,186	9,275	9,376	9,528
	12,123	8,185	9,455	11,057	10,769	11,974	13,095	13,223	11,994	8,594	9,757	9,865	10,028

Продовження табл. 1.2 –

№ Варіанту	Експериментальні дані (критерій узгодженості Пірсона)												
7	11,033	7,095	8,365	9,967	9,679	10,884	12,005	12,133	10,904	7,504	8,667	8,775	8,938
	11,709	7,504	8,860	10,571	10,263	11,550	12,747	12,884	11,571	7,941	9,183	9,298	9,471
	12,431	7,940	9,388	11,216	10,887	12,261	13,540	13,686	12,284	8,406	9,733	9,856	10,041
	13,123	8,358	9,895	11,833	11,484	12,942	14,299	14,454	12,967	8,853	10,260	10,391	10,587
	13,941	8,852	10,493	12,564	12,191	13,748	15,198	15,363	13,774	9,381	10,884	11,023	11,233
	14,198	9,007	10,681	12,793	12,413	14,001	15,480	15,649	14,028	9,546	11,080	11,222	11,436
	14,461	9,166	10,873	13,027	12,640	14,260	15,768	15,940	14,287	9,716	11,280	11,425	11,643
	15,370	9,715	11,538	13,839	13,425	15,155	16,766	16,950	15,184	10,302	11,972	12,127	12,360
8	12,033	7,268	8,805	10,743	10,394	11,852	13,209	13,364	11,877	7,763	9,170	9,301	9,497
	12,851	7,762	9,403	11,474	11,101	12,658	14,108	14,273	12,684	8,291	9,794	9,933	10,143
	13,108	7,917	9,591	11,703	11,323	12,911	14,390	14,559	12,938	8,456	9,990	10,132	10,346
	13,371	8,076	9,783	11,937	11,550	13,170	14,678	14,850	13,197	8,626	10,190	10,335	10,553
	14,280	8,625	10,448	12,749	12,335	14,065	15,676	15,860	14,094	9,212	10,882	11,037	11,270
	16,225	9,799	11,872	14,486	14,015	15,981	17,811	18,020	16,014	10,467	12,365	12,541	12,806
	18,914	11,423	13,839	16,886	16,338	18,629	20,762	21,006	18,668	12,201	14,414	14,619	14,928
	10,400	6,713	7,902	9,402	9,132	10,260	11,310	11,430	10,279	7,096	8,185	8,286	8,438
9	7,750	14,173	12,843	8,579	10,894	18,179	5,756	16,277	11,930	8,586	9,791	7,511	8,934
	8,203	15,063	13,643	9,088	11,561	19,341	6,073	17,310	12,667	9,096	10,383	7,947	9,468
	8,687	16,013	14,496	9,632	12,273	20,582	6,412	18,413	13,455	9,640	11,015	8,414	10,038
	9,150	16,923	15,314	10,153	12,955	21,771	6,737	19,469	14,209	10,162	11,620	8,861	10,583
	9,698	18,000	16,281	10,769	13,762	23,178	7,121	20,719	15,101	10,779	12,336	9,389	11,229
	9,870	18,338	16,585	10,963	14,015	23,619	7,242	21,112	15,381	10,973	12,561	9,555	11,432
	10,046	18,683	16,895	11,160	14,274	24,070	7,365	21,512	15,667	11,170	12,790	9,724	11,639
	10,655	19,879	17,970	11,845	15,170	25,633	7,791	22,901	16,658	11,856	13,586	10,311	12,356

№ Варіанту	Експериментальні дані (критерій узгодженості Пірсона)												
10	8,608	16,910	15,191	9,679	12,672	22,088	6,031	19,629	14,011	9,689	11,246	8,299	10,139
	8,780	17,248	15,495	9,873	12,925	22,529	6,152	20,022	14,291	9,883	11,471	8,465	10,342
	8,956	17,593	15,805	10,070	13,184	22,980	6,275	20,422	14,577	10,080	11,700	8,634	10,549
	9,565	18,789	16,880	10,755	14,080	24,543	6,701	21,811	15,568	10,766	12,496	9,221	11,266
	10,868	21,349	19,179	12,220	15,998	27,886	7,614	24,782	17,689	12,232	14,198	10,477	12,800
	12,669	24,886	22,357	14,245	18,650	32,507	8,876	28,888	20,620	14,259	16,551	12,214	14,922
	7,326	13,340	12,095	8,102	10,270	17,091	5,459	15,310	11,240	8,109	9,237	7,102	8,435
	8,060	15,833	14,224	9,063	11,865	20,681	5,647	18,379	13,119	9,072	10,530	7,771	9,493
11	17,315	10,889	12,962	15,576	15,105	17,071	18,901	19,110	17,104	11,557	13,455	13,631	13,896
	20,004	12,513	14,929	17,976	17,428	19,719	21,852	22,096	19,758	13,291	15,504	15,709	16,018
	11,490	7,803	8,992	10,492	10,222	11,350	12,400	12,520	11,369	8,186	9,275	9,376	9,528
	12,123	8,185	9,455	11,057	10,769	11,974	13,095	13,223	11,994	8,594	9,757	9,865	10,028
	11,033	7,095	8,365	9,967	9,679	10,884	12,005	12,133	10,904	7,504	8,667	8,775	8,938
	11,709	7,504	8,860	10,571	10,263	11,550	12,747	12,884	11,571	7,941	9,183	9,298	9,471
	12,431	7,940	9,388	11,216	10,887	12,261	13,540	13,686	12,284	8,406	9,733	9,856	10,041
	13,123	8,358	9,895	11,833	11,484	12,942	14,299	14,454	12,967	8,853	10,260	10,391	10,587
12	11,958	22,439	20,269	13,310	17,088	28,976	8,704	25,872	18,779	13,322	15,288	11,567	13,890
	13,759	25,976	23,447	15,335	19,740	33,597	9,966	29,978	21,710	15,349	17,641	13,304	16,012
	8,416	14,430	13,185	9,192	11,360	18,181	6,549	16,400	12,330	9,199	10,327	8,192	9,525
	8,840	15,263	13,933	9,669	11,984	19,269	6,846	17,367	13,020	9,676	10,881	8,601	10,024
	6,236	12,25	11,005	7,012	9,18	16,001	4,369	14,22	10,15	7,019	8,147	6,012	7,345
	6,660	13,083	11,753	7,489	9,804	17,089	4,666	15,187	10,840	7,496	8,701	6,421	7,844
	7,113	13,973	12,553	7,998	10,471	18,251	4,983	16,220	11,577	8,006	9,293	6,857	8,378
	7,597	14,923	13,406	8,542	11,183	19,492	5,322	17,323	12,365	8,550	9,925	7,324	8,948

№ Варіанту	Експериментальні дані (критерій узгодженості Пірсона)												
13	9,967	9,679	10,884	21,349	19,179	10,904	7,504	8,667	8,775	8,938	12,413	14,001	15,480
	10,571	10,263	11,550	24,886	22,357	11,571	7,941	9,183	9,298	9,471	12,640	14,260	15,768
	11,216	10,887	12,261	13,340	12,095	12,284	8,406	9,733	9,856	10,041	13,425	15,155	16,766
	11,833	11,484	12,942	15,833	14,224	12,967	8,853	10,260	10,391	10,587	10,394	11,852	13,209
	13,310	17,088	28,976	10,889	12,962	18,779	13,322	15,288	11,567	13,890	11,101	12,658	14,108
	15,335	19,740	33,597	12,513	14,929	21,710	15,349	17,641	13,304	16,012	11,323	12,911	14,390
	9,192	11,360	18,181	7,803	8,992	12,330	9,199	10,327	8,192	9,525	11,550	13,170	14,678
	9,669	11,984	19,269	8,185	9,455	13,020	9,676	10,881	8,601	10,024	12,335	14,065	15,676
14	14,299	14,454	12,967	13,209	13,364	11,877	11,550	12,747	12,884	19,629	14,011	9,689	11,246
	15,198	15,363	13,774	14,108	14,273	12,684	12,261	13,540	13,686	20,022	14,291	9,883	11,471
	15,480	15,649	14,028	14,390	14,559	12,938	12,942	14,299	14,454	20,422	14,577	10,080	11,700
	15,768	15,940	14,287	14,678	14,850	13,197	13,748	15,198	15,363	21,811	15,568	10,766	12,496
	16,766	16,950	15,184	15,676	15,860	14,094	14,001	15,480	15,649	24,782	17,689	12,232	14,198
	13,209	13,364	11,877	17,811	18,020	16,014	14,260	15,768	15,940	28,888	20,620	14,259	16,551
	14,108	14,273	12,684	20,762	21,006	18,668	15,155	16,766	16,950	15,310	11,240	8,109	9,237
	14,390	14,559	12,938	11,310	11,430	10,279	17,071	18,901	19,110	16,277	11,930	8,586	9,791
15	6,660	13,083	11,753	7,489	9,804	17,089	4,666	15,187	10,840	7,496	8,701	6,421	7,844
	8,203	15,063	13,643	9,088	11,561	19,341	6,073	17,310	12,667	9,096	10,383	7,947	9,468
	8,416	14,430	13,185	9,192	11,360	18,181	6,549	16,400	12,330	9,199	10,327	8,192	9,525
	9,150	16,923	15,314	10,153	12,955	21,771	6,737	19,469	14,209	10,162	11,620	8,861	10,583
	16,886	16,338	12,513	14,929	12,640	14,260	15,768	9,192	11,360	18,181	13,686	12,284	8,406
	9,402	9,132	7,803	8,992	13,425	15,155	16,766	9,669	11,984	19,269	14,454	12,967	8,853
	8,579	10,894	8,185	9,455	10,394	11,852	13,209	14,299	14,454	12,967	25,872	18,779	13,322
	9,088	11,561	13,209	13,364	11,101	12,658	14,108	15,198	15,363	13,774	12,640	14,260	15,768

Спостережувальні значення випадкової величини

	0	1	2	3	4
0	9.379	8.76	10.81	9.876	11.15
1	10.61	7.882	9.466	9.682	11.44
2	9.515	9.591	9.146	10.06	11.55
3	9.198	12.05	11.58	9.771	12.55
4	9.153	9.432	7.652	10.34	7.988
5	9.461	9.694	10.68	9.578	11.32
6	10.89	10.97	10.31	9.968	...

$x^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	7.429	7.875	8.32	8.765	9.21	9.656	10.101

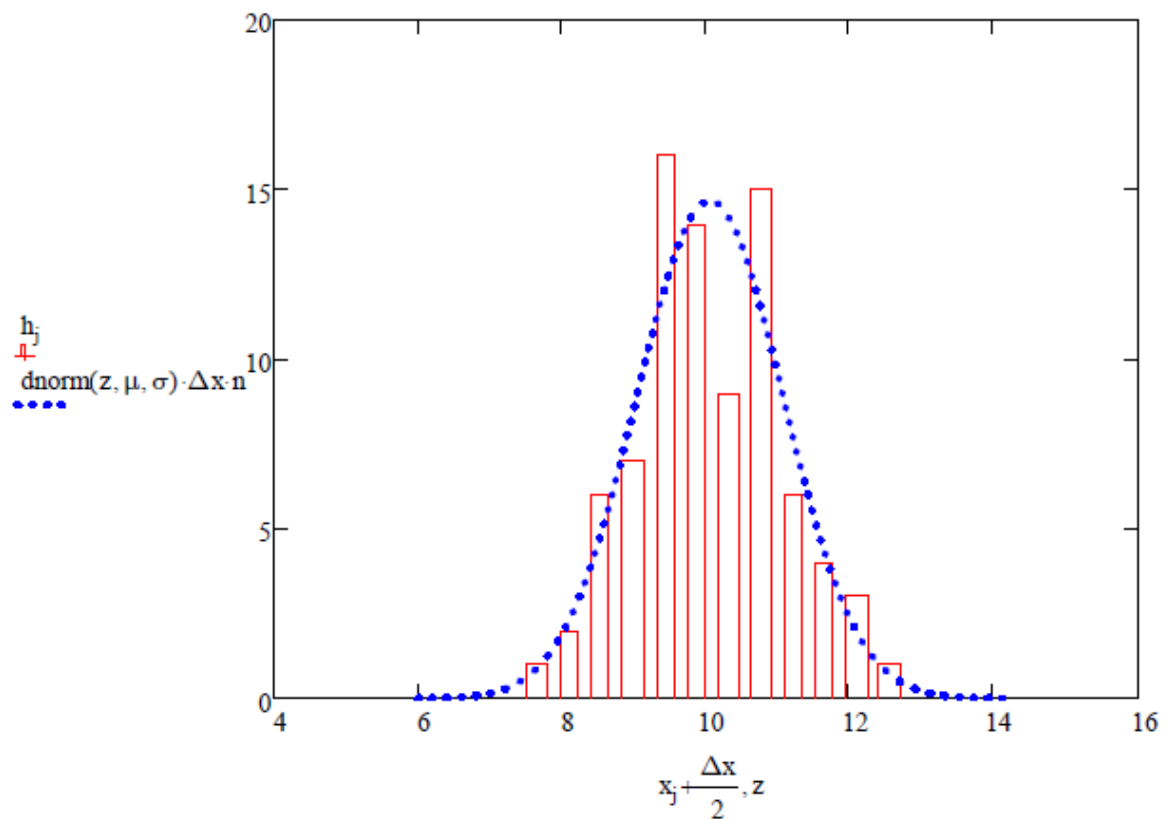
$$h^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 6 & 7 & 16 & 14 & 9 & 15 & 6 & \dots \end{array}$$

Оцінка середньоквадратичного відхилення $\sigma := \sqrt{\frac{n}{n-1}} \cdot \text{stdev}(\zeta) = 1.018$

13

Побудова гістограми частот:

$$z := \mu - 4\sigma, \mu - 4\sigma + 0.01 \dots \mu + 4\sigma$$



Розрахунок теоретичного очікування кількості влучень:

$$j := 0 \dots m - 1$$

$$h_{\text{teor}j} := \left(\text{pnorm}(x_{j+1}, \mu, \sigma) - \text{pnorm}(x_j, \mu, \sigma) \right) \cdot n$$

$$h_{\text{teor}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.932	2.347	4.895	8.455	12.095	14.331	14.063	...

Рисунок 1.2 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad відносно нормального закону розподілу за критерієм узгодженості Пірсона χ^2 (продовження)

Побудова функції, що виконує об'єднання сусідніх груп у разі, якщо кількість влучень менша за п'ять:

```

grup(v,w) :=
  j ← 0
  for i ∈ 0 .. length(v) - 1
    1 if vi ≥ 5
      aj ← vi
      bj ← wi
      j ← j + 1
    otherwise
      0 if i = length(v) - 1
        aj-1 ← aj-1 + vi
        bj-1 ← bj-1 + vi
      otherwise
        vi+1 ← vi + vi+1
        wi+1 ← wi + wi+1
  (
    a
    b
  )

```

Групована спостережувана кількість влучень: $H_{ww} := \text{grup}(h, h_{\text{teor}})_0$

$$H^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	6	7	16	14	9	15	6	...

Групована теоретична кількість влучень: $H_{\text{teor}} := \text{grup}(h, h_{\text{teor}})_1$

$$H_{\text{teor}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.932	2.347	4.895	8.455	12.095	14.331	14.063	...

Розрахунок спостережуваного значення хі-квадрат:

$$j := 0 \dots \text{длина}(H) - 1 \quad \chi := \sum_j \frac{(H_j - H_{\text{teor}j})^2}{H_{\text{teor}j}} = 5.757$$

Табличне значення хі-квадрат при рівні значущості 0,05: $qchisq(0.95, m - 1 - 2) = 16.919$

Формування відповіді: $\text{result} := \text{if}(\chi < qchisq(0.95, m - 3), \text{"YES"}, \text{"NO"}) = \text{"YES"}$

Рисунок 1.3 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad відносно нормального закону розподілу за критерієм узгодженості Пірсона χ^2 (продовження)

Спостережувальні значення випадкової величини

A :=

	0
0	0
1	7
2	9
3	5
4	5
5	7
6	7
7	11
8	6
9	4
10	7
11	4
12	6
13	1
14	4
15	...

$$A^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	7	9	5	5	7	7	11	6	...

Формування масиву спостережувальних значень випадкової величини

$$n_s := \text{rows}(A) = 21 \quad \underline{N} := \text{cols}(A) = 1 \quad j := 0..n_s - 1 \quad k := 0..N - 1$$

$$\zeta_{j+k \cdot n_s} := A_{j,k}$$

Кількість значень у масиві:

$$n := \text{длина}(\zeta) = 21 \quad i := 0..n_s - 1$$

Визначення мінімального та максимального спостережувальних значень:

$$x_{\min} := \min(\zeta) = 0$$

$$x_{\max} := \max(\zeta) = 11$$

Рисунок 1.4 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad
відносно біноміального закону розподілу за критерієм Колмагорова-
Смірнова λ

Кількість інтервалів у гістограмі:

$$m := 1 + x_{\max} - x_{\min} = 12 \quad j := 0..m$$

Довжина інтервалу: $\Delta x := 1$

Поділ на інтервали: $x_j := x_{\min} - \frac{\Delta x}{2} + j \cdot \Delta x$

$$x^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-0.5	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	...

Середини інтервалів: $k := 0..m - 1$ $x_{m_k} := x_k + \frac{\Delta x}{2}$

$$x_m^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	...

Частота влучень в інтервалі:

$$h := \frac{\text{hist}(x, \zeta)}{n} \quad \sum_k h_k = 1$$

$$h^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.048	0.048	0	0	0.143	0.238	0.19	0.238	...

Формування гіпотези про закон розподілу:

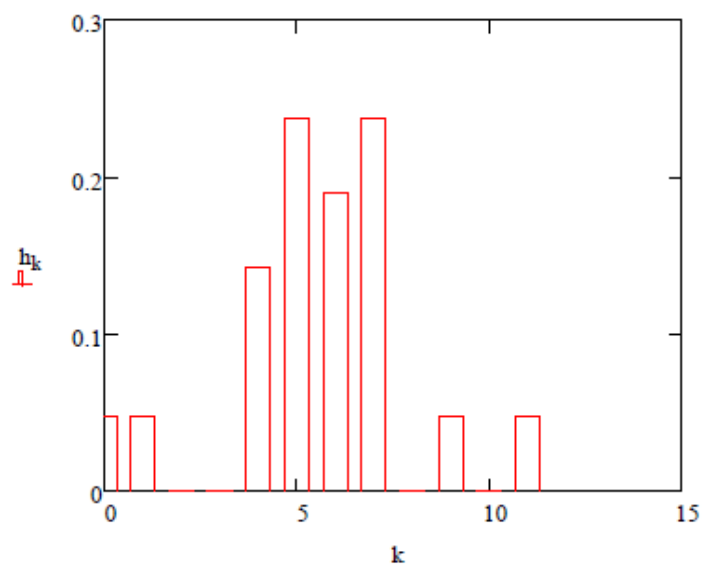


Рисунок 1.5 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad відносно біноміального закону розподілу за критерієм Колмагорова-Смірнова λ (продовження)

Сумарна частота влучень в інтервали:

$$w_k := \sum_{j=0}^k h_j \quad w_{m-1} = 1$$

$$w^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.048	0.095	0.095	0.095	0.238	0.476	0.667	0.905	...

Оцінювання параметрів закону розподілу:

середнє значення

$$\mu_1 := \text{mean}(\zeta) = 5.571$$

середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_1 := \sqrt{\frac{n}{n-1}} \cdot \text{stdev}(\zeta) = 2.378$$

максимальне

$$c := x_{\max} = 11$$

$$p := \frac{\mu_1}{c} = 0.506$$

Візуальне порівняння гістограми сумарних частот випадкових чисел з гіпотетичним законом розподілу:

$$G(i) := \text{pbinom}(i, c, p)$$

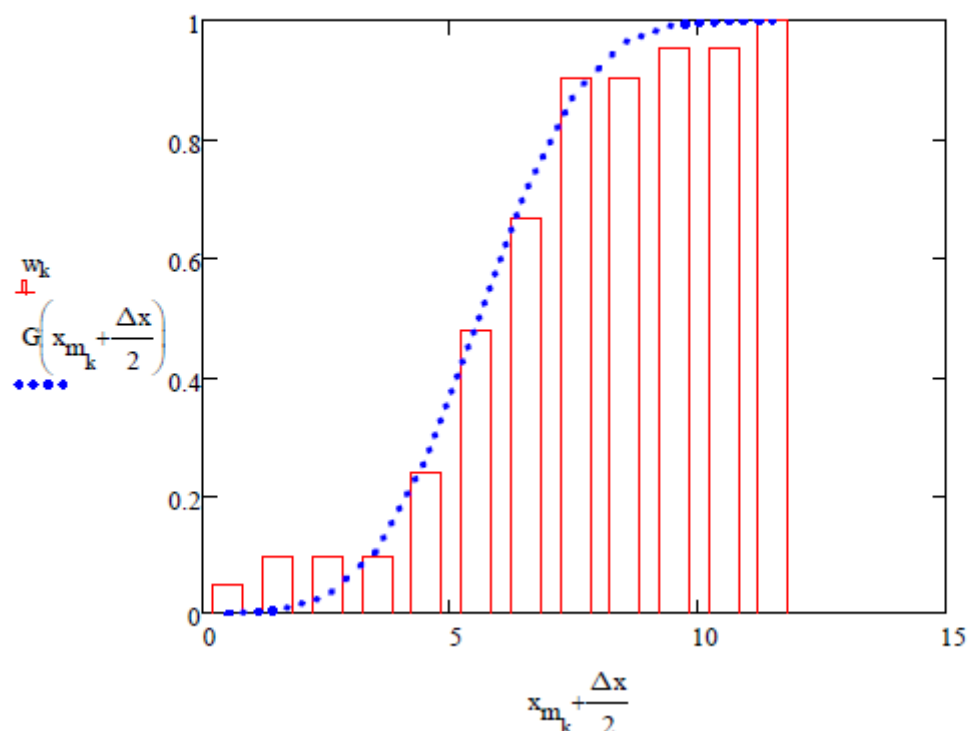


Рисунок 1.6 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad відносно біноміального закону розподілу за критерієм Колмагорова-Смірнова λ (продовження)

Перевірка гіпотези за критерієм λ :

$$k := 0..m - 1$$

Спостережувана сумарна частота влучень в інтервали:

$$w^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.048	0.095	0.095	0.095	0.238	0.476	0.667	0.905	...

Теоретична сумарна частота влучень в інтервали:

$$w_{\text{teor}_k} := G\left(x_{m_k} + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$w_{\text{teor}}^T =$$

	0	1	2	3	4
0	$4.229 \cdot 10^{-4}$	$5.197 \cdot 10^{-3}$	0.03	0.105	...

$$\text{delta_}w_k := |w_k - w_{\text{teor}}|$$

$$\text{delta_}w^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	2.218	2.095	2.095	2.095	1.767	1.45	1.505	1.922	...

$$\lambda := \max(\text{delta_}w) \cdot \sqrt{n} = 10.163$$

Формування висновку щодо відповідності випадкової величини обраному закону:

$$\text{result} := \text{if}(\lambda < 1.36, \text{"YES"}, \text{"NO"}) = \text{"NO"}$$

Рисунок 1.7 – Лістинг ідентифікації експериментальних даних в Mathcad відносно біноміального закону розподілу за критерієм Колмагорова-Смірнова λ (продовження)

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. В лабораторній роботі необхідно надати лістинг та результати виконання
3. Висновки за отриманими результатами лабораторної роботи №1

Запитання для самоперевірки

1. Який алгоритм визначення закону розподілу випадкової величини?
2. Визначте основні задачі ідентифікації закону розподілу?

3. Які критерії відповідності випадкових величин застосовуються для законів розподілу?
4. Визначте алгоритми застосування критерію χ^2 та λ -критерію.
5. Яку інформацію можна отримувати наприкінці оцінювання відповідності випадкових величин до відповідного закону розподілу?
6. За яких умов забезпечується оцінювання відповідності випадкових величин до того чи іншого закону розподілу за критерієм Пірсона?
7. За яких умов забезпечується оцінювання відповідності випадкових величин до того чи іншого закону розподілу за критерієм за λ -критерієм?
8. Які головні задачі ідентифікації функціональної залежності?
9. Як визначити функціональну залежність між змінними моделі?

Лабораторна робота №2

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТА АПРОКСИМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Мета: Опанувати практичними навичками проведення обробки та аналізу експериментальних даних із застосуванням методів інтерполяції та апроксимації

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Виконати аналіз експериментальних даних (табл. 2.1) із застосуванням інтерполяції на основі формул Ньютона. Розрахунки виконувати засобами Mathcad або із застосуванням мови програмування C++/C#, Java, Python (за узгодженням з викладачем).

2. Провести аналіз експериментальних даних (табл. 2.2) на наявність функціональної залежності отриманих спостережень за допомогою апроксимації. Розрахунки виконувати засобами Mathcad або із застосуванням мови програмування C++/C#, Java, Python (за узгодженням з викладачем).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до завдання 1

№Варіанту	Параметр	Експериментальні дані										
1	X	0,10	0,18	0,26	0,34	0,42	0,50	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50
	Y	0,00	0,13	0,28	0,43	0,58	0,73	0,66	0,74	0,82	0,90	0,98
2	X	0,05	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,58	0,66	0,74	0,82	0,90
	Y	0,00	0,29	0,44	0,59	0,74	0,89	0,83	0,98	1,13	1,28	1,43
3	X	0,11	0,42	0,50	0,58	0,66	0,73	0,81	0,89	0,97	0,98	1,00
	Y	0,00	0,53	0,68	0,83	0,98	0,97	1,12	1,27	1,42	1,57	1,72
4	X	0,35	0,43	0,51	0,59	0,67	0,75	1,15	1,30	1,45	1,60	1,75
	Y	0,25	0,38	0,53	0,68	0,83	0,98	0,91	0,99	1,07	1,15	1,23
5	X	0,30	0,57	0,65	0,73	0,81	0,89	0,83	0,91	0,99	1,07	1,15
	Y	0,25	0,54	0,69	0,84	0,99	1,14	1,08	1,23	1,38	1,53	1,68
6	X	0,36	0,67	0,75	0,83	0,91	0,98	1,06	1,14	1,22	1,23	1,25
	Y	0,25	0,78	0,93	1,08	1,23	1,22	1,37	1,52	1,67	1,82	1,97
7	X	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,40	1,55	1,70	1,85	2,00
	Y	0,50	0,63	0,78	0,93	1,08	1,23	1,16	1,24	1,32	1,40	1,48

Продовження табл. 2.1 -

№Варіанту	Параметр	Експериментальні дані										
8	X	0,85	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25
	Y	0,75	0,88	1,03	1,18	1,33	1,48	1,41	1,49	1,57	1,65	1,73
9	X	0,80	1,07	1,15	1,23	1,31	1,39	1,33	1,41	1,49	1,57	1,65
	Y	0,63	0,76	0,91	1,06	1,21	1,36	1,29	1,37	1,45	1,53	1,61
10	X	0,68	0,95	1,03	1,11	1,19	1,27	1,21	1,29	1,37	1,45	1,53
	Y	0,51	0,64	0,79	0,94	1,09	1,24	1,17	1,25	1,33	1,41	1,49
11	X	0,56	0,83	0,91	0,99	1,07	1,15	1,09	1,17	1,25	1,33	1,41
	Y	0,39	0,52	0,67	0,82	0,97	1,12	1,05	1,13	1,21	1,29	1,37
12	X	0,44	0,71	0,79	0,87	0,95	1,03	0,97	1,05	1,13	1,21	1,29
	Y	0,27	0,40	0,55	0,70	0,85	1,00	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25
13	X	0,32	0,59	0,67	0,75	0,83	0,91	0,85	0,93	1,01	1,09	1,17
	Y	0,15	0,28	0,43	0,58	0,73	0,88	0,81	0,89	0,97	1,05	1,13
14	X	0,20	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79	0,73	0,81	0,89	0,97	1,05
	Y	0,03	0,16	0,31	0,46	0,61	0,76	0,69	0,77	0,85	0,93	1,01
15	X	0,08	0,35	0,43	0,51	0,59	0,67	0,61	0,69	0,77	0,85	0,93
	Y	0,55	0,82	0,90	0,98	1,06	1,14	1,08	1,16	1,24	1,32	1,40

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання 2

№ Варіанту	Параметр	Експериментальні дані																					
1	X ₁	4,0	2,0	4,0	4,0	3,0	5,0	8,0	6,0	4,0	6,0	5,0	2,0	6,0	8,0	6,0	2,0	9,0	4,0	3,0	7,0	4,0	
	X ₂	16,0	8,0	16,0	16,0	12,0	20,0	32,0	24,0	16,0	24,0	20,0	8,0	24,0	28,0	24,0	8,0	36,0	12,0	12,0	18,0	16,0	
	X ₃	57,0	33,0	57,0	57,0	45,0	69,0	105,0	81,0	57,0	72,0	60,0	33,0	72,0	33,0	81,0	33,0	117,0	45,0	36,0	45,0	57,0	
	Y	13,2	95,0	35,0	14,0	10,2	29,1	105,2	69,1	69,0	81,1	80,0	26,4	13,2	59,3	78,2	52,1	50,0	92,0	19,1	12,3	57,1	
2	X ₁	7,0	5,0	7,0	7,0	6,0	8,0	11,0	9,0	7,0	9,0	8,0	5,0	9,0	11,0	9,0	5,0	12,0	7,0	6,0	10,0	7,0	
	X ₂	19,0	11,0	19,0	19,0	15,0	23,0	35,0	27,0	19,0	27,0	23,0	11,0	27,0	31,0	27,0	11,0	39,0	15,0	15,0	21,0	19,0	
	X ₃	60,0	36,0	60,0	60,0	48,0	72,0	108,0	84,0	60,0	75,0	63,0	36,0	75,0	36,0	84,0	36,0	120,0	48,0	39,0	48,0	60,0	
	Y	16,2	98,0	38,0	17,0	13,2	32,1	119,2	72,1	72,0	84,1	83,0	29,4	16,2	62,3	81,2	55,1	53,0	95,0	22,1	15,3	60,1	
3	X ₁	10,0	8,0	10,0	10,0	9,0	11,0	14,0	12,0	10,0	12,0	11,0	8,0	12,0	14,0	12,0	8,0	15,0	10,0	9,0	13,0	10,0	
	X ₂	22,0	14,0	22,0	22,0	18,0	26,0	38,0	30,0	22,0	30,0	26,0	14,0	30,0	34,0	30,0	14,0	42,0	18,0	18,0	24,0	22,0	
	X ₃	63,0	39,0	63,0	63,0	51,0	75,0	111,0	87,0	63,0	78,0	66,0	39,0	78,0	39,0	87,0	39,0	123,0	51,0	42,0	51,0	63,0	
	Y	19,2	101,0	41,0	20,0	16,2	35,1	122,2	75,1	75,0	87,1	86,0	32,4	19,2	65,3	84,2	58,1	56,0	98,0	25,1	18,3	63,1	
4	X ₁	8,0	6,0	8,0	8,0	7,0	9,0	12,0	10,0	8,0	10,0	9,0	6,0	10,0	12,0	10,0	6,0	13,0	8,0	7,0	11,0	8,0	
	X ₂	20,0	12,0	20,0	20,0	16,0	24,0	36,0	28,0	20,0	28,0	24,0	12,0	28,0	32,0	28,0	12,0	40,0	16,0	16,0	22,0	20,0	
	X ₃	61,0	37,0	61,0	61,0	49,0	73,0	109,0	85,0	61,0	76,0	64,0	37,0	76,0	37,0	85,0	37,0	121,0	49,0	40,0	49,0	61,0	
	Y	17,2	99,0	39,0	18,0	14,2	33,1	120,2	73,1	73,0	85,1	84,0	30,4	17,2	63,3	82,2	56,1	54,0	96,0	23,1	16,3	61,1	

№ Варіанту	Параметр	Експериментальні дані																				
5	X ₁	6,0	9,0	6,0	11,0	5,0	12,0	10,0	13,0	6,0	13,0	7,0	9,0	8,0	15,0	8,0	9,0	11,0	11,0	5,0	14,0	11,0
	X ₂	18,0	15,0	18,0	23,0	14,0	27,0	34,0	31,0	18,0	31,0	22,0	15,0	26,0	35,0	26,0	15,0	38,0	19,0	14,0	25,0	23,0
	X ₃	59,0	40,0	59,0	64,0	47,0	76,0	107,0	88,0	59,0	79,0	62,0	40,0	74,0	40,0	83,0	40,0	119,0	52,0	38,0	52,0	64,0
	Y	15,2	102,0	37,0	21,0	12,2	36,1	118,2	76,1	71,0	88,1	82,0	33,4	15,2	66,3	80,2	59,1	52,0	99,0	21,1	19,3	64,1
6	X ₁	4,0	12,0	4,0	14,0	3,0	15,0	8,0	16,0	4,0	16,0	5,0	12,0	6,0	18,0	6,0	12,0	9,0	14,0	3,0	17,0	14,0
	X ₂	16,0	18,0	16,0	26,0	12,0	30,0	32,0	34,0	16,0	34,0	20,0	18,0	24,0	38,0	24,0	18,0	36,0	22,0	12,0	28,0	26,0
	X ₃	57,0	43,0	57,0	67,0	45,0	79,0	105,0	91,0	57,0	82,0	60,0	43,0	72,0	43,0	81,0	43,0	117,0	55,0	36,0	55,0	67,0
	Y	13,2	105,0	35,0	24,0	10,2	39,1	116,2	79,1	69,0	91,1	80,0	36,4	13,2	69,3	78,2	62,1	50,0	102,0	19,1	22,3	67,1
7	X ₁	7,0	8,0	7,0	10,0	6,0	11,0	11,0	12,0	7,0	12,0	8,0	8,0	9,0	14,0	9,0	8,0	12,0	10,0	6,0	13,0	17,0
	X ₂	19,0	14,0	19,0	22,0	15,0	26,0	35,0	30,0	19,0	30,0	23,0	14,0	27,0	34,0	27,0	14,0	39,0	18,0	15,0	24,0	29,0
	X ₃	60,0	39,0	60,0	63,0	48,0	75,0	108,0	87,0	60,0	78,0	63,0	39,0	75,0	39,0	84,0	39,0	120,0	51,0	39,0	51,0	70,0
	Y	16,2	101,0	38,0	20,0	13,2	35,1	119,2	75,1	72,0	87,1	83,0	32,4	16,2	65,3	81,2	58,1	53,0	98,0	22,1	18,3	70,1
8	X ₁	10,0	4,0	10,0	6,0	9,0	7,0	14,0	8,0	10,0	8,0	11,0	4,0	12,0	10,0	12,0	4,0	15,0	6,0	9,0	9,0	20,0
	X ₂	22,0	10,0	22,0	18,0	18,0	22,0	38,0	26,0	22,0	26,0	26,0	10,0	30,0	30,0	30,0	10,0	42,0	14,0	18,0	20,0	32,0
	X ₃	63,0	35,0	63,0	59,0	51,0	71,0	111,0	83,0	63,0	74,0	66,0	35,0	78,0	35,0	87,0	35,0	123,0	47,0	42,0	47,0	73,0
	Y	19,2	97,0	41,0	16,0	16,2	31,1	122,2	71,1	75,0	83,1	86,0	28,4	19,2	61,3	84,2	54,1	56,0	94,0	25,1	14,3	73,1

Продовження табл. 2.2 –

№ Варіанту	Параметр	Експериментальні дані																					
9	X ₁	8,0	7,0	8,0	9,0	7,0	10,0	12,0	11,0	8,0	11,0	9,0	7,0	10,0	13,0	10,0	7,0	13,0	9,0	7,0	12,0	23,0	
	X ₂	20,0	13,0	20,0	21,0	16,0	25,0	36,0	29,0	20,0	29,0	24,0	13,0	28,0	33,0	28,0	13,0	40,0	17,0	16,0	23,0	35,0	
	X ₃	61,0	38,0	61,0	62,0	49,0	74,0	109,0	86,0	61,0	77,0	64,0	38,0	76,0	38,0	85,0	38,0	121,0	50,0	40,0	50,0	76,0	
	Y	17,2	100,0	39,0	19,0	14,2	34,1	120,2	74,1	73,0	86,1	84,0	31,4	17,2	64,3	82,2	57,1	54,0	97,0	23,1	17,3	76,1	
10	X ₁	6,0	10,0	6,0	12,0	5,0	13,0	10,0	14,0	6,0	14,0	7,0	10,0	8,0	16,0	8,0	10,0	11,0	12,0	5,0	15,0	26,0	
	X ₂	18,0	16,0	18,0	24,0	14,0	28,0	34,0	32,0	18,0	32,0	22,0	16,0	26,0	36,0	26,0	16,0	38,0	20,0	14,0	26,0	38,0	
	X ₃	59,0	41,0	59,0	65,0	47,0	77,0	107,0	89,0	59,0	80,0	62,0	41,0	74,0	41,0	83,0	41,0	119,0	53,0	38,0	53,0	79,0	
	Y	15,2	103,0	37,0	22,0	12,2	37,1	118,2	77,1	71,0	89,1	82,0	34,4	15,2	67,3	80,2	60,1	52,0	100,0	21,1	20,3	79,1	
11	X ₁	9,0	6,0	9,0	8,0	8,0	9,0	13,0	10,0	9,0	10,0	10,0	6,0	11,0	12,0	11,0	6,0	14,0	8,0	8,0	11,0	29,0	
	X ₂	21,0	12,0	21,0	20,0	17,0	24,0	37,0	28,0	21,0	28,0	25,0	12,0	29,0	32,0	29,0	12,0	41,0	16,0	17,0	22,0	41,0	
	X ₃	62,0	37,0	62,0	61,0	50,0	73,0	110,0	85,0	62,0	76,0	65,0	37,0	77,0	37,0	86,0	37,0	122,0	49,0	41,0	49,0	82,0	
	Y	18,2	99,0	40,0	18,0	15,2	33,1	121,2	73,1	74,0	85,1	85,0	30,4	18,2	63,3	83,2	56,1	55,0	96,0	24,1	16,3	82,1	
12	X ₁	12,0	2,0	12,0	4,0	11,0	5,0	16,0	6,0	12,0	6,0	13,0	2,0	14,0	8,0	14,0	2,0	17,0	4,0	11,0	7,0	32,0	
	X ₂	24,0	8,0	24,0	16,0	20,0	20,0	40,0	24,0	24,0	24,0	28,0	8,0	32,0	28,0	32,0	8,0	44,0	12,0	20,0	18,0	44,0	
	X ₃	65,0	33,0	65,0	57,0	53,0	69,0	113,0	81,0	65,0	72,0	68,0	33,0	80,0	33,0	89,0	33,0	125,0	45,0	44,0	45,0	85,0	
	Y	21,2	95,0	43,0	14,0	18,2	29,1	124,2	69,1	77,0	81,1	88,0	26,4	21,2	59,3	86,2	52,1	58,0	92,0	27,1	12,3	85,1	

Продовження табл. 2.2 –

№ Варіанту	Параметр	Експериментальні дані																					
13	X ₁	9,0	10,0	10,0	6,0	11,0	8,0	9,0	7,0	10,0	12,0	12,0	2,0	12,0	4,0	11,0	13,0	7,0	9,0	8,0	15,0	8,0	
	X ₂	21,0	28,0	25,0	12,0	29,0	20,0	21,0	16,0	25,0	36,0	24,0	8,0	24,0	16,0	20,0	31,0	22,0	15,0	26,0	35,0	26,0	
	X ₃	62,0	76,0	65,0	37,0	77,0	61,0	62,0	49,0	74,0	109,0	65,0	33,0	65,0	57,0	53,0	79,0	62,0	40,0	74,0	40,0	83,0	
	Y	74,0	85,1	85,0	30,4	18,2	39,0	19,0	14,2	34,1	120,2	21,2	95,0	43,0	14,0	18,2	88,1	82,0	33,4	15,2	66,3	80,2	
14	X ₁	6,0	4,0	6,0	5,0	2,0	6,0	13,0	8,0	7,0	7,0	5,0	7,0	7,0	6,0	8,0	11,0	12,0	10,0	13,0	6,0	11,0	
	X ₂	24,0	16,0	24,0	20,0	8,0	12,0	40,0	16,0	16,0	19,0	11,0	19,0	19,0	15,0	23,0	35,0	27,0	34,0	31,0	18,0	29,0	
	X ₃	81,0	57,0	72,0	60,0	33,0	37,0	121,0	49,0	40,0	60,0	36,0	60,0	60,0	48,0	72,0	108,0	76,0	107,0	88,0	59,0	86,0	
	Y	69,1	69,0	81,1	80,0	26,4	56,1	54,0	96,0	23,1	16,2	98,0	38,0	17,0	13,2	32,1	119,2	36,1	118,2	76,1	71,0	83,2	
15	X ₁	8,0	9,0	11,0	11,0	5,0	4,0	14,0	3,0	15,0	8,0	11,0	9,0	7,0	6,0	8,0	11,0	9,0	7,0	9,0	9,0	7,0	
	X ₂	26,0	15,0	38,0	19,0	14,0	16,0	26,0	12,0	30,0	23,0	35,0	27,0	19,0	15,0	23,0	35,0	27,0	19,0	27,0	27,0	19,0	
	X ₃	83,0	40,0	119,0	52,0	38,0	57,0	67,0	45,0	79,0	72,0	108,0	84,0	60,0	48,0	72,0	108,0	84,0	60,0	75,0	84,0	60,0	
	Y	80,2	59,1	52,0	99,0	21,1	35,0	24,0	10,2	39,1	32,1	119,2	72,1	17,0	13,2	32,1	119,2	72,1	72,0	84,1	72,1	72,0	

Приклад виконання лабораторної роботи №2

Інтерполяція за формулами Ньютона

ORIGIN := 0 M := 6

X :=

	0
0	0
1	0.4
2	0.6
3	0.7
4	0.8
5	0.9
6	1

Y :=

	0
0	0
1	0
2	0.01
3	0.03
4	0.06
5	0.13
6	0.37

Ступінь поліномів Ньютона N := длина(X) = 7

Побудова матриці кінцевих різниць порядків 1,2,...,M:

$$D(X, Y, M) := \left| \begin{array}{l} N \leftarrow \text{длина}(Y) \\ \text{for } i \in 0 \dots N-2 \\ \quad \Delta_{i,0} \leftarrow Y_{i+1} - Y_i \\ \text{for } j \in 1 \dots M-1 \\ \quad \text{for } i \in 0 \dots N-2-j \\ \quad \quad \Delta_{i,j} \leftarrow \Delta_{i+1,j-1} - \Delta_{i,j-1} \\ \Delta \end{array} \right.$$

$\Delta := D(X, Y, M)$

$$\Delta = \begin{pmatrix} 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0.03 & 0.04 \\ 0.01 & 0.01 & 0 & 0.03 & 0.07 & 0 \\ 0.02 & 0.01 & 0.03 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.03 & 0.04 & 0.13 & 0 & 0 & 0 \\ 0.07 & 0.17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.1 – Аналіз експериментальних даних із застосуванням інтерполяції
но основі формул Ньютона засобами Mathcad

Реалізація першої формули Ньютона для заданого x за відомою матрицею кінцевих різниць Δ (використовується лише перша відома точка):

$$P_1(x, X, Y, \Delta) := \left(\begin{array}{l} h \leftarrow X_1 - X_0 \quad p \leftarrow Y_0 \quad nf \leftarrow 1 \quad q \leftarrow \frac{x - X_0}{h} \quad qp \leftarrow q \\ \text{for } j \in 1 \dots \text{cols}(\Delta) \\ \quad \left| \begin{array}{l} p \leftarrow p + \frac{\Delta_{0,j-1}}{nf} \cdot qp \\ nf \leftarrow nf \cdot (j + 1) \\ qp \leftarrow qp \cdot (q - j) \end{array} \right. \\ p \end{array} \right)$$

Реалізація другої формули Ньютона для заданого x за відомою матрицею кінцевих різниць Δ (використовується лише остання відома точка):

$$P_2(x, X, Y, \Delta) := \left(\begin{array}{l} N \leftarrow \text{last}(X) \quad h \leftarrow X_N - X_{N-1} \quad p \leftarrow Y_N \quad nf \leftarrow 1 \quad q \leftarrow \frac{x - X_N}{h} \quad qp \leftarrow q \\ \text{for } j \in 1 \dots \text{cols}(\Delta) \\ \quad \left| \begin{array}{l} p \leftarrow p + \frac{\Delta_{N-j,j-1}}{nf} \cdot qp \\ nf \leftarrow nf \cdot (j + 1) \\ qp \leftarrow qp \cdot (q - j) \end{array} \right. \\ p \end{array} \right)$$

Рисунок 2.2 – Аналіз експериментальних даних із застосуванням інтерполяції
но основі формул Ньютона засобами Mathcad (*продовження*)

Для порівняння виконуємо реалізацію за тими ж даними звичайного канонічного полінома:

$$i := 0 \dots \text{last}(X) \quad j := 0 \dots \text{last}(X) \quad \underline{\underline{C_{i,j}}} := (X_i)^j \quad \underline{\underline{G}} := C^{-1} \cdot Y$$

$$P_0(x, G) := \left| \begin{array}{l} p \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(G) \\ \quad p \leftarrow p + G_i \cdot x^i \\ p \end{array} \right.$$

Побудова 2 поліномів Ньютона та канонічного полінома у межах зміни X із заданим шагом dx

$$dx := 0.1 \quad x := X_0, X_0 + dx \dots X_{\text{last}(X)} \quad i := 0 \dots \text{last}(X)$$

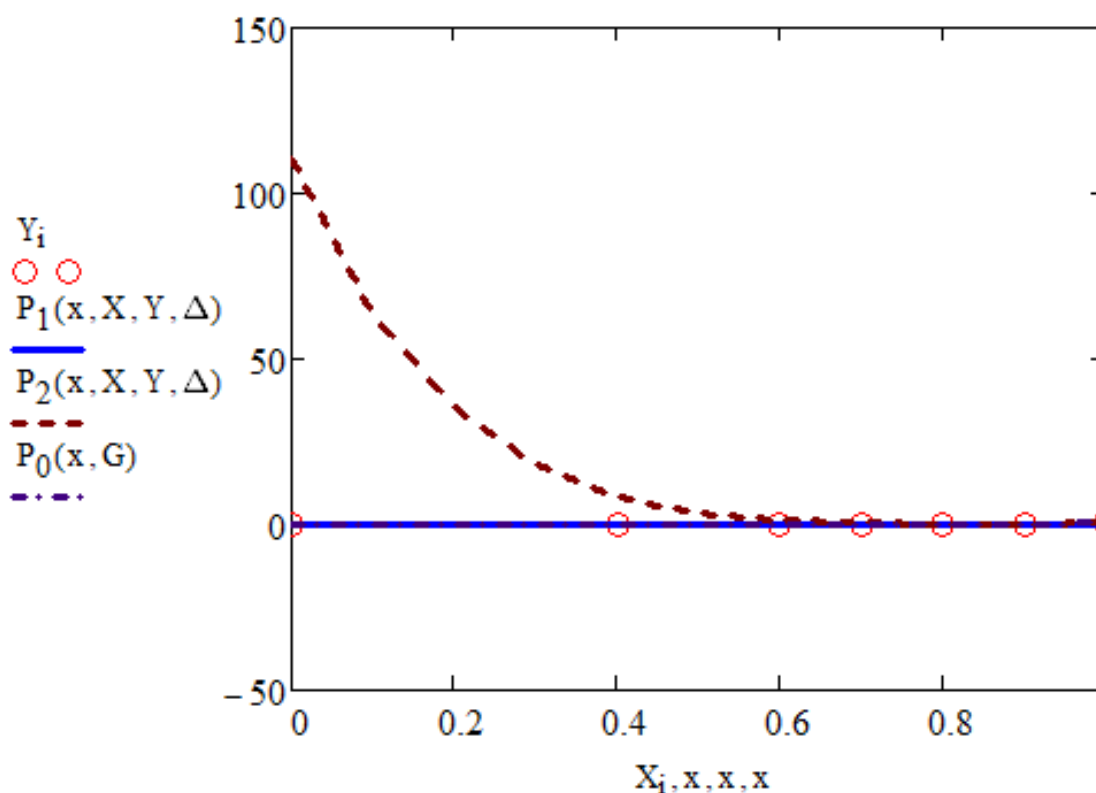


Рисунок 2.3 – Аналіз експериментальних даних із застосуванням інтерполяції
но основі формул Ньютона засобами Mathcad (*продовження*)

Форматування масиву спостережувальних даних

Data :=

	0	1
0	2	27
1	3	...

$j := 0.. \text{cols}(\text{Data}) - 2$

$X^{(j)} := \text{Data}^{(j)}$

$Y := \text{Data}^{(\text{cols}(\text{Data})-1)}$

$X^{(0)} =$

	0
0	2
1	3
2	4
3	3
4	4
5	3
6	4
7	3
8	2
9	2
10	5
11	2
12	2
13	4
14	4
15	2

$X^{(1)} =$

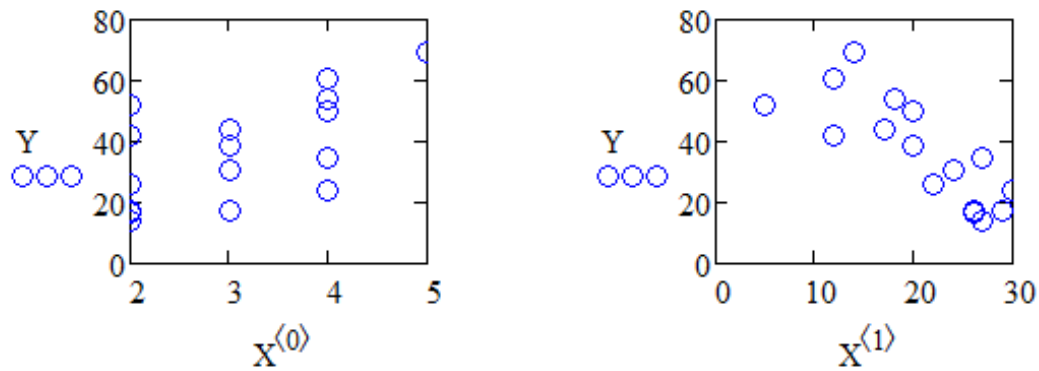
	0
0	27
1	29
2	18
3	17
4	27
5	24
6	30
7	20
8	12
9	26
10	14
11	22
12	5
13	12
14	20
15	26

$Y =$

	0
0	14.01
1	17.01
2	53.99
3	43.83
4	34.72
5	30.92
6	24.19
7	38.55
8	41.69
9	16.65
10	69.34
11	25.92
12	51.83
13	60.58
14	50
15	17.1

Рисунок 2.4 – Формалізація експериментальних даних для подальшого аналізу на наявність функціональної залежності отриманих спостережень за допомогою апроксимації в Mathcad

Візуальне спостереження залежності вихідної змінної від вхідних параметрів:



Формування гіпотези про вид функціональної залежності:

$$\text{fun}(x) := \begin{bmatrix} 1 \\ x_0 \\ (x_1)^2 \end{bmatrix} \quad k := 3$$

$$f(x, b) := \begin{cases} a \leftarrow \text{fun}(x)_0 \\ \text{for } i \in 0..k-1 \\ \quad a \leftarrow a + b_i \cdot \text{fun}(x)_i \\ a \end{cases}$$

Оцінка значень параметрів функціональної залежності за МНК (метод найменших квадратів)

$$i := 0.. \text{rows}(\text{Data}) - 1$$

Формування матриці для обчислення параметрів:

$$\text{Matrix_X}_i, 0 := 1$$

$$\text{Matrix_X}_i, 1 := X_{i, 0}$$

$$\text{Matrix_X}_i, 2 := (X_{i, 1})^2$$

Рисунок 2.5 – Лістинг аналізу на наявність функціональної залежності даних спостережень за допомогою апроксимації в Mathcad

$$\text{Matrix_X}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 3 & 4 & 3 & 4 & 3 & 2 & 2 \\ 2 & 729 & 841 & 324 & 289 & 729 & 576 & 900 & 400 & 144 & \dots \end{array}$$

Розрахунок параметрів функціональної залежності:

$$\text{coef_b} := (\text{Matrix_X}^T \cdot \text{Matrix_X})^{-1} \cdot \text{Matrix_X}^T \cdot Y = \begin{pmatrix} 31.187 \\ 9.528 \\ -0.05 \end{pmatrix}$$

Розрахунок значень вихідної змінної за функціональною залежністю:

$$f\left[\begin{pmatrix} X^{(0)} \\ X^{(1)} \end{pmatrix}, \text{coef_b}\right]^T = \begin{array}{c|cccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 0 & 14.901 & 18.846 & 54.147 & 46.364 & 33.957 & \dots \end{array}$$

Кількість спостережень: $n := \text{rows}(\text{Data})$

Розрахунок критерію НМК:

$$K_{\text{rit}} := \sum_{i=0}^{n-1} \left[f\left[\begin{pmatrix} X^{(0)} \\ X^{(1)} \end{pmatrix}, \text{coef_b}\right]_i - Y_i \right]^2 = 37.739$$

Кореляційно-регресійний аналіз знайденої функціональної залежності

Розрахунок індексу кореляції:

$$\sigma_{\text{fact}} := \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left[f\left[\begin{pmatrix} X^{(0)} \\ X^{(1)} \end{pmatrix}, \text{coef_b}\right]_i - \text{mean}(Y) \right]^2 = 294.128$$

$$\sigma_{\text{zag}} := \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - \text{mean}(Y))^2 = 294.51$$

Рисунок 2.6 – Лістинг аналізу на наявність функціональної залежності даних спостережень за допомогою апроксимації в Mathcad (продовження)

$$\text{Індекс кореляції: } \underline{R} := \sqrt{\frac{\sigma_{\text{fact}}}{\sigma_{\text{zag}}}} = 0.999$$

Індекс кореляції показує, що (за шкалою Чеддока) зв'язок між вихідною змінною у та множиною вхідних змінних х є суттєвим.

$$\text{Індекс детермінації: } R^2 = 0.999$$

Індекс детермінації показує, що 99% загальної варіації вихідної змінною у пояснюється факторами х.

Розрахунок індексу кореляції (матричний спосіб):

$$RR := \sqrt{\frac{[\text{koef_b} \cdot (\text{Matrix_X}^T \cdot Y)] - n \cdot \text{mean}(Y)^2}{Y^T \cdot Y - n \cdot \text{mean}(Y)^2}} = 0.998$$

Істотність індексу кореляції:

$$\underline{F} := \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k - 1}{k}$$

$$\text{if}(F > qF(0.95, k, n - k - 1), \text{"YES"}, \text{"NO"}) = \text{"YES"}$$

Індекс кореляції є істотним.

Дослідження значущості параметрів функціональної залежності

$$j := 0..k - 1$$

$$d_j := \left[(\text{Matrix_X}^T \cdot \text{Matrix_X})^{-1} \right]_{j,j}$$

$$d = \begin{pmatrix} 0.952 \\ 0.067 \\ 9.125 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$s_{kv} := \frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left[f \left(\begin{pmatrix} X^{(0)} \\ X^{(1)} \end{pmatrix}, \text{koef_b} \right)_i - Y_i \right]^2 = 3.145$$

Рисунок 2.7 – Лістинг аналізу на наявність функціональної залежності даних спостережень за допомогою апроксимації в Mathcad (продовження)

$$t_j := \frac{|koef_b_j|}{\sqrt{d_j \cdot s_kv}} \quad t = \begin{pmatrix} 18.023 \\ 20.702 \\ 29.427 \end{pmatrix}$$

$$if(t_j > qt(0.95, n - 2), "YES", "NO") = \begin{pmatrix} "YES" \\ "YES" \\ "YES" \end{pmatrix}$$

Встановлено, що всі параметри функціональної залежності є значущими.

Визначення довірчих інтервалів параметрів функціональної залежності

$$b_min_j := koef_b_j - qt(0.95, n - 2) \cdot \sqrt{d_j \cdot s_kv}$$

$$b_max_j := koef_b_j + qt(0.95, n - 2) \cdot \sqrt{d_j \cdot s_kv}$$

$$b_min = \begin{pmatrix} 28.14 \\ 8.717 \\ -0.053 \end{pmatrix} \quad koef_b = \begin{pmatrix} 31.187 \\ 9.528 \\ -0.05 \end{pmatrix} \quad b_max = \begin{pmatrix} 34.235 \\ 10.338 \\ -0.047 \end{pmatrix}$$

З огляду на отримані результати, найбільш неточним є визначений перший параметр, а найбільш точним виявився останній параметр.

Рисунок 2.8 – Лістинг аналізу на наявність функціональної залежності даних спостережень за допомогою апроксимації в Mathcad (*продовження*)

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. В лабораторній роботі необхідно надати лістинг та результати виконання
3. Висновки за результатами виконання лабораторної роботи №2

Запитання для самоперевірки

1. Що є інтерполяцією даних?
2. Надайте класифікацію інтерполяції.
3. Надайте пояснення алгоритму виконання інтерполяції даних за допомогою виразів Ньютона.
4. Які особливості виконання інтерполяції за формулами Ньютона?
5. Наведіть випадки при яких розв'язок задачі апроксимації не можливий.
6. За якими показниками можна визначити вид апроксимуючої функції?
7. Визначте обмеження, які мають вплив на вид функціональної залежності в задачах апроксимації?
8. Які критерії визначення параметрів функціональної залежності застосовуються?
9. Для чого застосовують кореляційно-регресійний аналіз даних?
10. Визначте критерії оцінки значущості параметрів функціональної залежності та охарактеризуйте їх.
11. За якими критеріями можна оцінювати істотність індексу кореляції?
12. Яку інформацію можна отримати при наявності довірчого інтервалу?

Лабораторна робота №3

РОЗРОБКА ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МЕРЕЖ ПЕТРІ

Мета: Отримати практичні навички з розробки формалізованих моделей систем на основі мереж масового обслуговування та мереж Петрі

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Розробити формалізовану модель системи на основі мереж масового обслуговування за наступних умов:

До комутаційного вузла, який містить вхідний буфер, процесор, два вихідних буфери і дві вихідні лінії, забезпечується надходження повідомлень з двох напрямів. З першого напрямку повідомлення спочатку надходять до вхідного буферу, надалі потрапляє до процесора, де виконується його обробка, наступним етапом надходить до вихідного буферу першої лінії, де виконується буферування, і, вже після цього, передається по вихідній лінії. Алгоритм обробки повідомлень за другим напрямом є аналогічним, однак його передача проводиться по другій вихідній лінії. Метод контролю передачі повідомлень визначає необхідність одночасної присутності в системі не більш M повідомлень на кожному напрямку. Повідомлення надходять через інтервали N , мс. Час обробки в процесорі дорівнює T , мс на повідомлення, час передачі по вихідній лінії дорівнює V , мс. У випадку надходження додаткового повідомлення при наявності M повідомлень, тоді дане повідомлення буде одержувати відмову. Мета проведення моделювання полягає у визначенні завантаження процесора системи і її вихідних ліній та визначенні ймовірності відмов під час обслуговування через переповнений буфер напрямку.

2. Розробити формалізовану модель системи на основі мереж Петрі за наступних умов:

Експериментальна роботизована гнучка виробнича система має Y верстатів із числовим пультом керування, X роботи, пункт прибуття і склад оброблених деталей. Деталі прибувають на пункт прибуття кожні G сек. У відповідності до експоненціального закону розподілу, надалі виконується захоплення одним з вільних роботів системи та, відповідно, забезпечується переміщення до першого верстату, а потім він стає знову вільним. Наступним етапом деталі обробляються на даному верстаті, а потім захоплюються вільним роботом і переміщуються до другого верстату, а вже надалі після виконання обробки з другого верстату переміщуються безпосередньо на склад. Обидва верстати можуть виконувати одночасну обробку до 3-х деталей. Процес переміщення робота від пункту прибуття до першого верстату, від першого до другого верстату та від другого верстату до пункту зберігання деталей після обробки буде складати відповідно t_1 , t_2 , і t_3 сек., причому не буде залежати від того, чи холостий хід, чи ні. Для здійснення операцій по захопленню та вивільненню деталей одному роботу потрібно K сек. Загальний час оброблення деталей на 1-му верстаті розподілений відповідно нормальному закону із середнім значення S сек. і має стандартне відхилення ΔS сек. Середній час обробки на 2-му верстаті дорівнює $t_{\text{серед}}$ сек. і відповідає експоненціальному закону розподілу. Мета проведення моделювання полягає у обчисленні коефіцієнтів завантаження роботів і верстатів у системі та визначенні максимальної кількості деталей на складі зберігання.

Вихідні дані для виконання лабораторної роботи №3 зведені до табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для лабораторної роботи №3

№ варіант	N , мс	T , мс	V , с	M	Y	X	G , с	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	K , с	S , с	ΔS , с	$t_{\text{серед}}$, с
1	15±5	5	15±3	3	2	3	30	6	7	5	8±1	60	5	100
2	16±6	6	16±4	4	3	4	35	7	8	6	9±2	65	10	110
3	17±7	7	17±2	5	4	5	40	8	9	7	10±3	70	15	120
4	18±8	8	18±3	6	2	3	45	9	10	8	8±2	75	5	130
5	19±9	9	19±4	7	3	4	50	10	11	9	9±3	80	10	140
6	20±5	5	20±2	3	4	5	55	11	12	10	10±1	60	15	150
7	21±6	6	21±4	4	2	3	35	6	7	5	8±3	65	5	100
8	22±7	7	22±5	5	3	4	40	7	8	6	9±1	70	10	110

№ варіант	N , мс	T ,мс	V , с	M	Y	X	G ,с	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	K , с	S , с	ΔS ,с	$t_{перед}$,с
9	23±8	8	23±2	6	4	5	45	8	9	7	10±2	75	15	120
10	24±9	9	24±3	7	2	3	50	9	10	8	9±3	80	5	130
11	25±5	5	25±2	3	3	4	60	11	12	10	10±1	60	10	140
12	26±6	6	26±3	4	4	5	55	10	11	9	8±3	65	15	150
13	27±7	7	27±5	5	2	3	35	6	7	5	9±2	70	5	100
14	28±8	8	28±7	6	3	4	60	11	12	10	10±3	75	10	110
15	29±9	9	29±6	7	4	5	30	8	9	7	8±2	80	15	120

Приклади виконання лабораторної роботи №3

Приклад 1. Виконати розробку формалізованої моделі системи засобами мереж МО за наступних умов:

В системі передачі даних виконується передача пакетів даних з пунктів А в С через проміжний транзитний пункт В. До пункту А пакети даних будуть надходити через кожні 10 ± 5 мс, надалі вони будуть буферуватися в накопичувачі, який може містити одночасно 20 пакетів, і потім передаються по одній з 2-х відомих ліній АВ1 або АВ2 за час, відповідно, 20 мс та 20 ± 5 мс до пункту В. В даному пункті пакети даних знову виконують функцію буферування в накопичувачі, який може містити одночасно 25 пакетів, і потім передаються відповідно по лініях ВС1 і ВС2 за час 25 ± 3 мс та 25 мс відповідно. Враховується, що пакети даних з лінії АВ1 надходять до ВС1, а з АВ2 - до ВС2. Також умова щодо відсутності переповнення накопичувача у пункті В встановлюється граничний показник ємності, який дорівнює 20 пакетів. У випадку досягнення такого показника відразу забезпечується підключення резерву апаратури системи і тоді час передачі даних буде знижуватися для ліній ВС1 і ВС2 до 15 мс.

Мета проведення моделювання полягає у визначенні ймовірності підключення резерву апаратури системи, відсотку пакетів даних, які не були передані через значне навантаження ліній зв'язку, та основних статистичних характеристик відповідних черг пакетів даних у пунктах А і В.

Розв'язок прикладу 1:

За умовою завдання прикладу №1 пакети даних, які передаються в системі, є об'єктом обслуговування по лініях зв'язку АВ1, АВ2, ВС1, ВС2. Так як пакети даних, що передаються по лініях АВ1 та ВС1, тоді об'єднання ліній АВ1 і АВ2 в одну систему масового обслуговування не має можливості. З огляду на це, для кожної лінії зв'язку буде виділятися своя система АВ1 – СМО₁, АВ2 – СМО₂, ВС1 – СМО₃, ВС2 – СМО₄ відповідно.

Перші дві системи МО, які відповідають за буферування пакетів даних пункті А, передбачають спільну чергу, що за заданих умов не може бути більше ніж 20 пакетів даних, тому встановлюється обмеження у кількості 20 місць. Канал СМО₁ (АВ1) забезпечує обслуговування пакетів даних за часом $t_{обр}=20$. Канал СМО₂ (АВ2) забезпечує обслуговування пакетів даних за часом $t_{обр}=20\pm5$. На наступному етапі, після виконання обробки СМО₁, пакет даних надходить до СМО₃, тоді як, після виконання обробки СМО₂, пакет даних надходить до СМО₄. Також визначено за умовою завдання, що загальна кількість пакетів даних у чергах СМО₃ та СМО₄ буде складати 25 пакетів. Канал СМО₃ (ВС1) передбачає час обслуговування рівний 25 ± 3 мс з огляду на те, що загальна кількість пакетів у чергах СМО₃ та СМО₄ менша ніж 20 пакетів, і дорівнюватиме 15 мс за іншого випадку:

$$t_{обр} = \begin{cases} 25 \pm 3, & \text{if } L_1 + L_2 < 20 \\ 15, & \text{else} \end{cases}$$

Канал СМО₄ (ВС2) передбачає час обслуговування рівний 25 мс з огляду на те, що загальна кількість пакетів у чергах СМО₃ та СМО₄ менша ніж 20 пакетів, і дорівнюватиме 15 мс за іншого випадку:

$$t_{обр} = \begin{cases} 25, & \text{if } L_1 + L_2 < 20 \\ 15, & \text{else} \end{cases}$$

Пакети даних, які надходять до систем МО, не змогли знайти вільне місце в каналі або в черзі, тоді будуть залишати ММО без обслуговування. За умовою задачі, пакети надходять у пункт А з інтервалом часу 10 ± 5 мс. Таким чином, пакети даних будуть надходити до ММО з відповідним часом $t_{\text{надх}} = 10 \pm 5$ саме до ліній зв'язку АВ1 та АВ2, тобто виконується з'єднання побудованих чотирьох СМО у відповідності до маршрутів пакетів даних і отримуємо формалізовану модель процесу передачі пакетів даних у вигляді мережі МО (рис. 3.1).

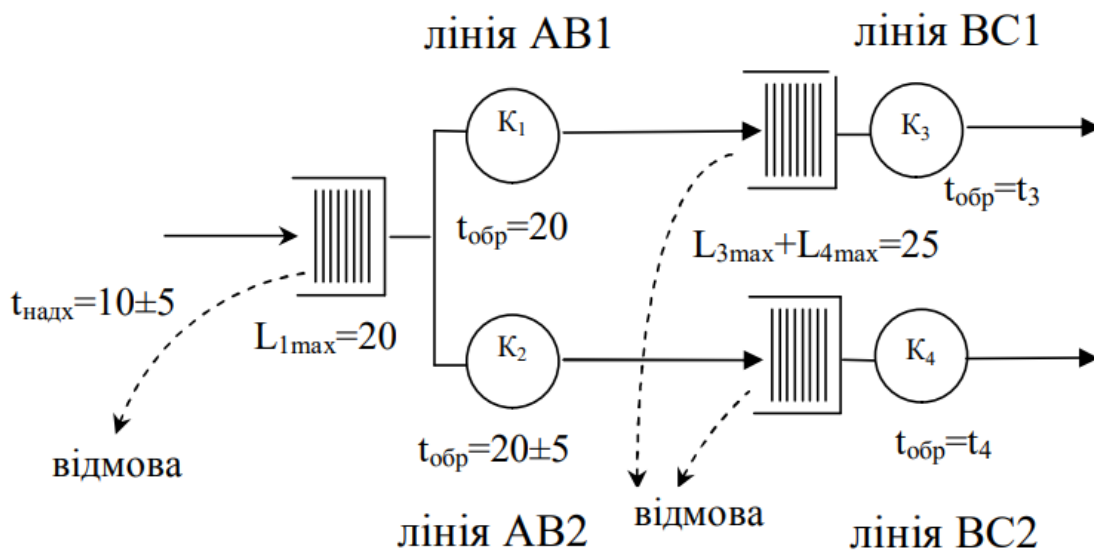


Рисунок 3.1 – Формалізована модель процесу передачі пакетів даних у вигляді мережі МО

Відповідь: відповіддю є складена мережа масового обслуговування на рис. 3.1

Приклад 2. Розробити формалізовану модель системи на основі мереж Петрі за наступних умов:

До комплектуючого конвеєру збирального цеху через кожні 10 хв. надходять до 10 деталей першого типу і через кожні 40 хв. – до 40 деталей другого типу. Даний конвеєр містить відповідні секції, в яких розміщуються по 20

деталей різних типів. Забезпечення комплектації здійснюється лише за наявності деталей 1-го та 2-го типів з огляду на необхідну їх кількість і продовжується приблизно до 20 хв. У випадку нестачі деталей секція буде залишатися пустою. Мета проведення моделювання полягає у визначенні ймовірності пропуску секції конвеєра та середньої довжини черг за кожним типом деталей.

Розв'язок прикладу 2:

На рис. 3.2 представлені події, які будуть відбуватися в даній системі.

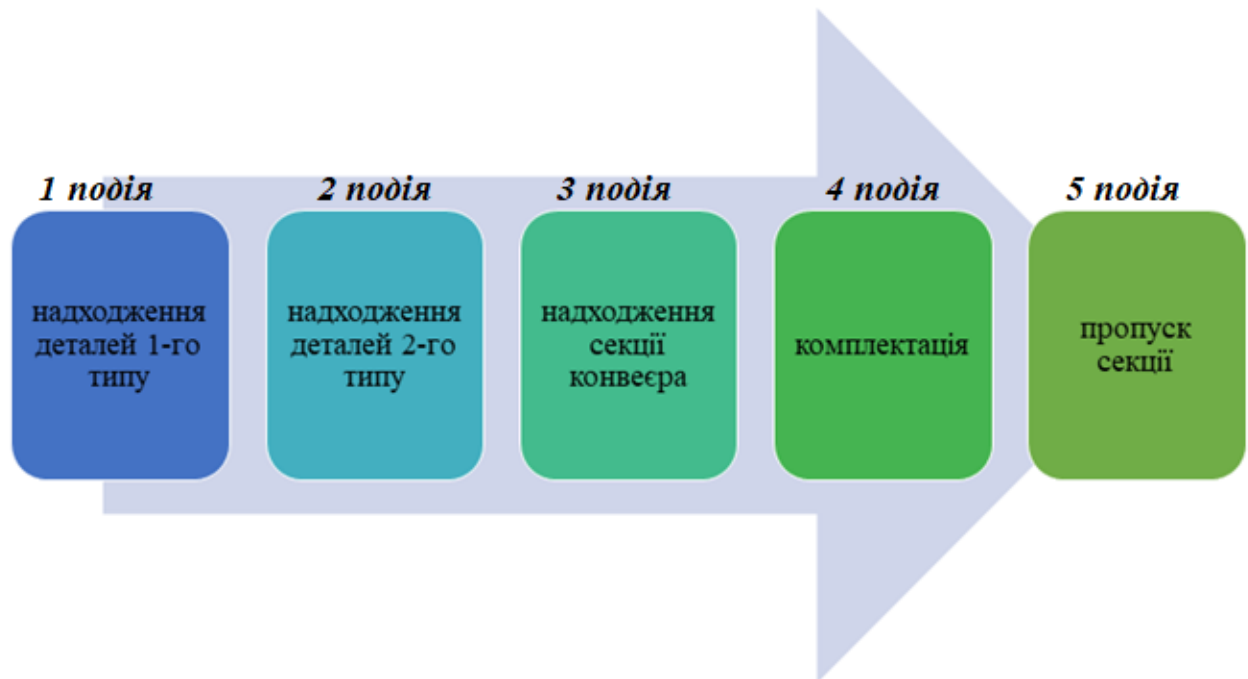


Рисунок 3.2 – Події, що відбуваються в конвеєрній системі

Перші три події будуть відбуватися незалежно від стану конвеєрної системи, тому, в даному випадку, у вхідних позиціях буде міститися необхідна кількість маркерів. Для виконання 4 події необхідно застосувати наступні умови: по-перше, черги деталей першого та другого типу будуть містити по 20 деталей; по-друге, наявність секції конвеєра.

Виконання 5 події буде забезпечуватися за умови наявності секції конвеєра, проте комплектування не відбувалося через відсутність необхідного обсягу

деталей.

Виконуючи з'єднання визначених подій та умов відповідними зв'язками, отримується мережа Петрі, що наведена на рис. 3.3. В даній мережі відбувається присвоєння більшого пріоритету саме переходу «комплектація», а не переходу «пропуск секції», так як отримана модель буде не вірною. Це свідчить про те, що за умови одночасного виконання умов запуску даних переходів завжди буде запускатися перехід «комплектація». Надалі будуть задаватися часові затримки для переходів відповідно до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Часові затримки для переходів заданих подій

Перехід	Затримка	Час, t
«надходження деталей першого типу»	Середня = 10 хв.	$t = -10 \cdot \ln \xi$
«надходження деталей другого типу»	Середня = 40 хв.	$t = -40 \cdot \ln \xi$
«надходження секції конвеєра»	20 хв.	$t = 20$
«комплектація»	20 хв.	$t = 20$
«пропуск секції»	відсутня	$t = 0$

Знаходження ймовірності пропуску секції конвеєра зводиться до використання значень відповідних позицій, що представлені наступним виразом:

$$\begin{aligned}
 & \text{ймовірність пропуску секції} = \\
 & = \frac{\text{кількість порожніх секцій}}{\text{кількість заповнених секцій} + \text{кількість порожніх секцій}}
 \end{aligned}$$

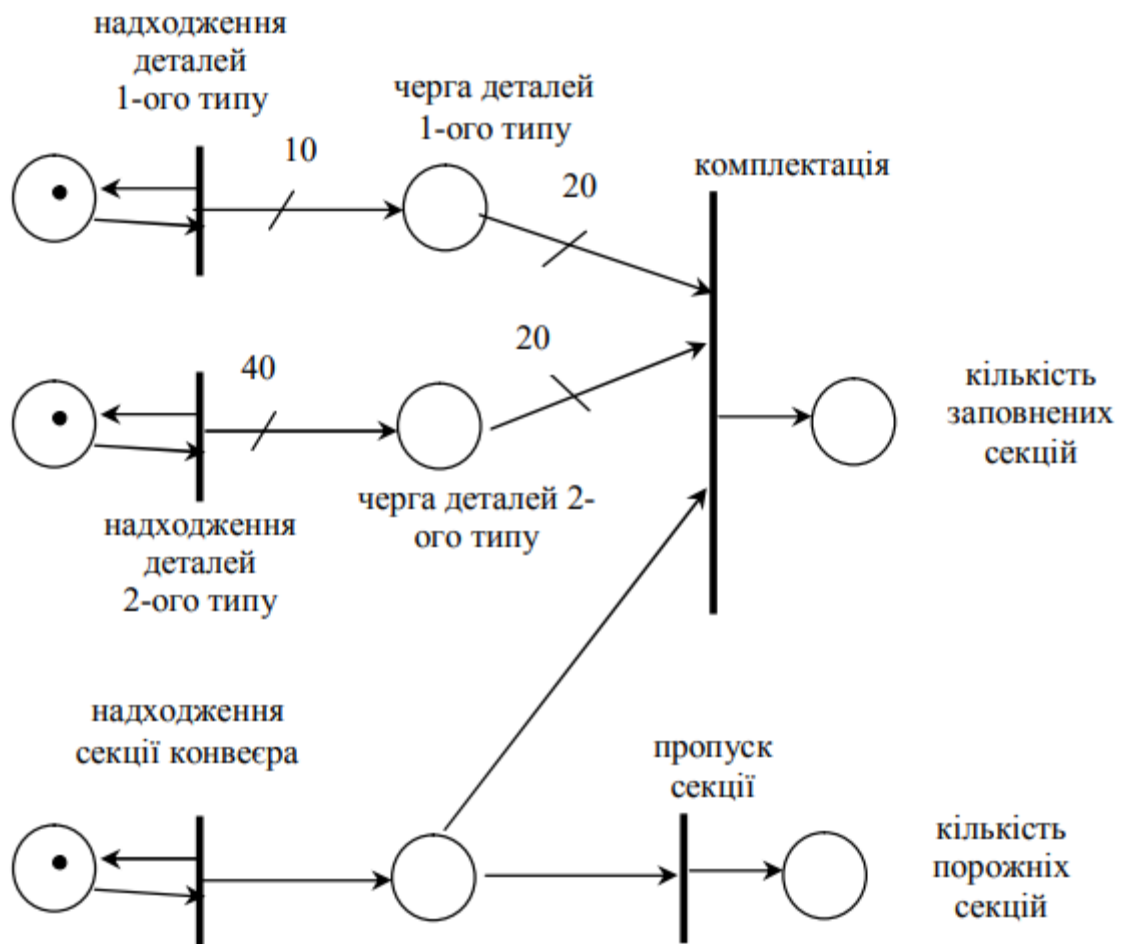


Рисунок 3.3 – Формалізована модель системи конвеєрної збірки деталей на основі мереж Петрі

Визначення середньої довжини черги певного типу деталей здійснюється зі спостережень значення позиції «черга деталей i -ого типу» та знаходиться за наступним виразом:

$$\text{середня довжина черги} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{черга деталей}_k \cdot \Delta t_k}{T_{mod}}$$

черга деталей_k – k -те спостереження черги.

Відповідь: відповіддю є мережа Петрі (див. рис. 3.3) та формули для визначення статистичних характеристик роботи моделі.

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. Наводяться розроблені формалізовані моделі систем на основі мереж масового обслуговування та мереж Петрі з детальним описом.
3. Висновки за результатами лабораторної роботи №3

Запитання для самоперевірки

1. Визначте основні елементи мереж масового обслуговування
2. Яким чином побудувати мережу масового обслуговування за поставленою умовою задачі?
3. Які основні правила функціонування мережі масового обслуговування?
4. Визначте системи, які підлягають формалізації засобами мереж масового обслуговування.
5. Надайте визначення термінам «блокування пристрою» та «блокування маршруту».
6. Наведіть випадки застосування мережі масового обслуговування з блокуванням?
7. Які елементи входять до мережі Петрі?
8. Яким чином побудувати мережу Петрі?
9. Визначте основну умову виконання запуску переходів мережі Петрі.
10. Поясніть сутність запуску переходів в мережі Петрі?
11. Що описує маркування мережі Петрі?

12. Поясніть різницю звичайної мережі Петрі і мережі Петрі з часовими затримками.
13. Яким чином забезпечується запуск переходів мережі Петрі з часовою затримкою?
14. Які основні правила функціонування мережі Петрі з часовими затримками?
15. Що собою представляє багатоканальний перехід мережі Петрі.
16. Які основні правила функціонування мережі Петрі з багатоканальними переходами?
17. Визначте умови виникнення конфлікту у мережі Петрі.
18. Що собою представляє конфліктний перехід мережі Петрі?
19. Визначте способи розв'язання конфлікту
20. Які основні правила функціонування мережі Петрі з конфліктними переходами?
21. Що собою представляє інформаційний зв'язок мережі Петрі.
22. Наведіть основне правило запуску переходів з інформаційними зв'язками.
23. Які основні правила функціонування мережі Петрі з інформаційними зв'язками?
24. Яким чином побудувати подію «надходження об'єктів»?
25. Яким чином побудувати подію «зборка»?
26. Яким чином побудувати подію «зайняти один з двох вільних пристроїв»?
27. Яким чином побудувати подію «зайняти половину використовуваного ресурсу»?
28. Яким чином виконується побудова події «поломка»?
29. Які системи підлягають формалізації засобами мереж Петрі?

Лабораторна робота №4

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ММО

Мета: Отримати практичні навички аналітичного моделювання динамічних систем з використанням мереж масового обслуговування

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Виконати аналітичне моделювання динамічних систем за наступних умов:

1. Визначити кількість каналів обслуговування, при яких є можливим сталий режим у розімкненій мережі МО (рис. 4.1). Вихідні дані для вирішення наведені в табл. 4.1.

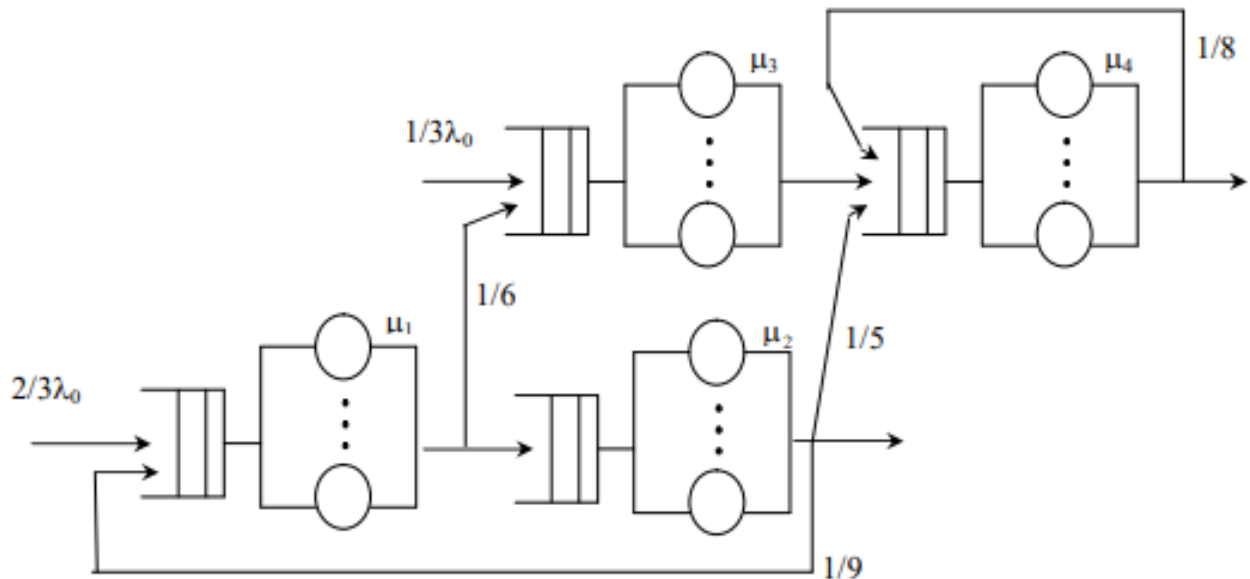


Рисунок 4.1 – Задана розімкнена ММО

2. Логістична компанія виконує обслуговування трьох пунктів А, В і С. Транспортний засіб перевозить товари з А в В і з В в С, повертаючись потім в А без наявності товару. Завантаження транспортних засобів в філії А буде займати в середньому T_1 хвилин, час пересування з А в В триває в середньому T_2 хвилин, навантаження у В – T_3 хвилин, переїзд у С – T_4 хвилин, і повернення назад в А –

T_5 хвилин. У випадку відсутності товарів в пунктах А і В до моменту навантаження вантажівки направляються далі за маршрутом. Загалом на маршруті працює N транспортних засобів. Вірогідність того, що товари на момент навантаження відсутні в пунктах А і В становлять відповідно p_1 та p_2 . Скласти формалізовану модель динамічної системи у вигляді ММО замкненого типу та визначити частоту порожніх перегонів вантажівок між А і В, В і С. Вихідні дані наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для завдання №1

Варіант	λ_0	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
1	10	2	4	1	4
2	12	3	5	2	5
3	14	4	6	3	6
4	16	5	7	4	7
5	18	2	8	5	8
6	20	3	4	6	4
7	22	4	5	1	5
8	24	5	6	2	6
9	23	2	7	3	7
10	22	3	8	4	8
11	21	4	7	5	7
12	20	5	5	6	5
13	19	2	6	3	6
14	18	3	7	4	7
15	17	4	8	5	8

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для завдання №2

Варіант	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	N	p ₁	p ₂
1	20	30	20	40	10	8	0,2	0,25
2	22	35	28	43	15	7	0,25	0,3
3	24	40	38	46	20	6	0,3	0,35
4	26	45	50	49	30	5	0,35	0,4
5	28	50	64	52	35	4	0,4	0,35
6	30	55	80	55	10	5	0,35	0,3
7	32	60	98	58	15	6	0,3	0,25
8	34	65	79	61	20	7	0,25	0,2
9	36	70	95	64	30	8	0,2	0,15
10	38	75	85	67	35	9	0,15	0,2
11	40	80	66	70	10	8	0,2	0,25
12	42	85	82	73	15	7	0,25	0,3
13	44	90	72	76	20	6	0,3	0,35
14	46	95	53	79	30	5	0,35	0,4
15	48	100	69	82	35	4	0,4	0,35

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. Наводяться етапи виконання кожного завдання з детальним описом та розрахунком основних параметрів розімкненої та замкненої мереж масового обслуговування.
3. Висновки за результатами лабораторної роботи №4

Запитання для самоперевірки

1. Визначте основні припущення, за яких виконується розгляд аналітичних моделей мереж масового обслуговування?
2. Визначте вхідні параметри розімкнутої і замкнутої мереж МО.
3. Яким чином обчислюється нормуючий множник в розімкнутій і замкненій мережа МО?
4. Яким чином виконати перевірку правильності розрахунку нормуючого множника?
5. Що собою представляють коефіцієнти передачі? Яким чином вони визначаються для в розімкнутої і замкнутої мереж МО?
6. Яким чином визначаються ймовірності станів розімкнутої і замкнутої мереж МО?
7. Визначте вихідні характеристики розімкнутої мережі МО. Яким чином вони обчислюються?
8. Визначте вихідні характеристики замкнутої мережі МО. Яким чином вони обчислюються?
9. Як здійснити перевірку правильності обчислень вихідних характеристик мереж масового обслуговування?
10. Які висновки можна зробити за отриманими результатами вихідних характеристик мережі МО?

Лабораторна робота №5

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Мета: Отримати практичні навички аналітичного дослідження динамічних систем на основі мереж Петрі

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Виконати аналітичне дослідження динамічних систем за наступних умов:

1. Визначте матрицю входів та виходів для мереж Петрі (рис. 5.1 а, б) та отримайте результат їх запуску за наступної послідовності переходів $T_1 - T_2 - T_3 - T_2$ та $T_3 - T_2 - T_1 - T_2$ відповідно.

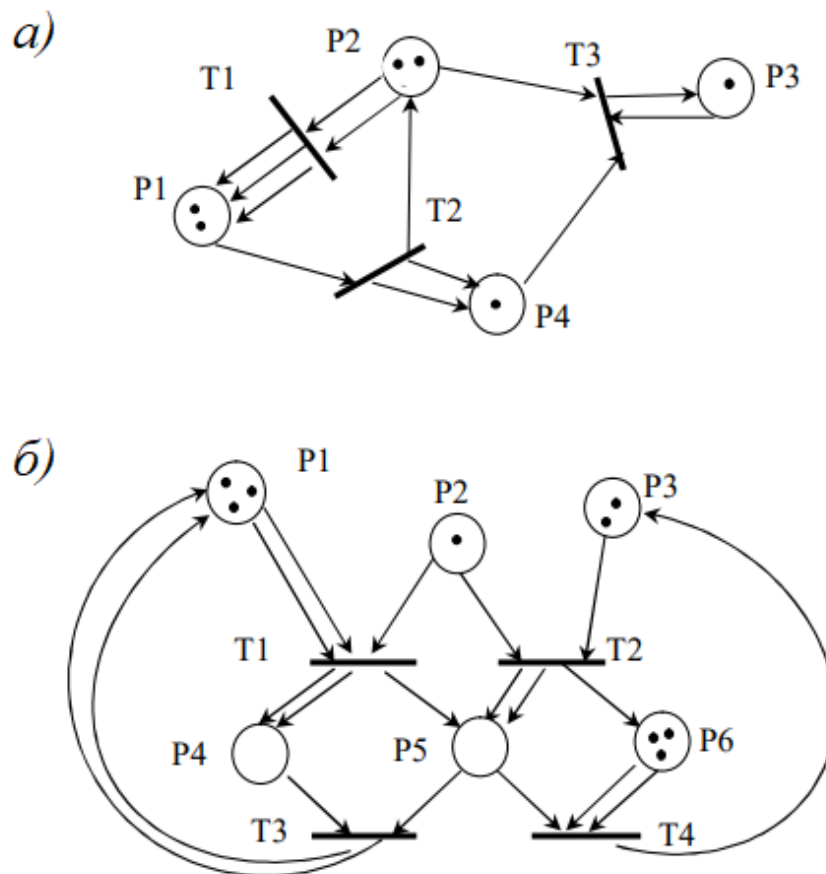


Рисунок 5.1 – Задані мережі Петрі до завдання 1

2. Побудуйте формалізовану модель мережі Петрі, для якої умова наведено нижче, та її дерево досяжності. Виконати аналітичне дослідження властивостей складеної мережі Петрі та визначити чи є досяжним маркування, при якому танкери всіх типів знаходять в порту? І чи є мережа Петрі k-обмеженою? За отриманими результатами аналітичного дослідження зробити висновки щодо властивостей досліджуваної системи.

Умова складання мережі Петрі: В українському порту кораблі завантажуються зерном, що надалі морським шляхом доставляється за місцем призначення. В загальному випадку потужність порту дозволяє завантажити не більш трьох кораблів одночасно. Кораблі, які прибувають у порт через кожні 11 ± 7 годин, відносять до трьох різних видів, причому нижче наведено значення відносної частоти появи кораблів відносно типу і часу, яке необхідне для завантаження (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Показники відносної появи кораблів

Вид	Показник відносної частоти появи	Час завантаження, год.
1	0,25	17 ± 2
2	0,4	25 ± 3
3	0,35	35 ± 4

В порту в наявності є один буксир, послугами якого користуються всі кораблі при причалюванні та відчалюванні. Причалювання та відчалювання в середньому становить приблизно 1 годину, проте, у випадку необхідності послуг буксира декільком кораблів, то пріоритет буде віддаватися саме операції причалювання. Судновласник запропонував дирекції порту укласти контракт на перевезення зерна за місцем призначення до Європи і забезпечити виконання умов контракту за допомогою п'ятих кораблів іншого четвертого типу, що на завантаження потребує 22 ± 3 годин. Після завантаження корабель відчалює і

випливає до Європи, там здійснює розвантаження і потім знову повертається до українського порту для завантаження. Час циклу проходження кораблем в обох напрямках, включаючи час розвантаження, складає 240 ± 24 годин. Фактор ускладнення процесу перевезення зерна вважаються шторми, яким піддається порт. Інтервал часу між появою штормів відповідає експоненціальному закону розподілу з математичним сподіванням, рівному 48 годин, враховуючи, що тривалість шторму доірвнює 4 ± 2 години. Під час шторму буксир не працює. Перед укладанням контракту керівництво порту вирішило визначити вплив, що виникне через п'ять додаткових кораблів на час перебування в порту інших судів. Мета проведення моделювання полягає у визначенні середнього і максимального часу перебування в порту додаткових кораблів і вже працюючих судів трьох типів.

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. Наводяться етапи виконання кожного завдання з детальним описом та дослідження основних параметрів мереж Петрі.
3. Висновки за результатами лабораторної роботи

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні елементи мереж Петрі
2. Визначте умову запуску переходу в мережі Петрі
3. Яким чином здійснюється запуск переходу?
4. Поясніть, яким чином складається матриця входів, матриця виходів та матриця змінювань?
5. Назвіть основні властивості мереж Петрі

6. Яким чином забезпечується виконання досліджень збережуваності мережі Петрі?
7. Яким чином забезпечується виконання досліджень досяжності маркування мережі Петрі?
8. Яким чином забезпечується визначення рівня активності переходу мережі Петрі?
9. У чому полягає обмеженість застосування матричного підходу до дослідження властивостей мереж Петрі?
10. Дайте визначення дереву досяжності мережі Петрі
11. Яким чином складається дерево досяжності мережі Петрі?
12. Визначте основні етапи алгоритму складання дерева досяжності.
13. Визначте основні властивості мережі Петрі, які досліджуються за допомогою дерева досяжності?
14. Дайте визначення покриттю маркування? Поясніть.
15. Поясніть, у чому обмеженість застосування дерева досяжності до дослідження властивостей мереж Петрі?

Лабораторна робота №6

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МЕТОДІВ

Мета: Набути практичних навичок розробки та реалізації алгоритмів дослідження моделей систем на основі ММО із використанням сучасних імітаційних методів моделювання.

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Виконати дослідження мережі масового обслуговування згідно варіанту (рис. 6.1), використовуючи методи та засоби імітаційного моделювання. До основних показників ефективності ММО відносять ймовірність відмови в обслуговуванні, середня довжина черг в накопичувачах та середній час очікування в чергах. Розробка алгоритму реалізації мережі масового обслуговування виконати із використанням програмного середовища MATLAB або за допомогою мов програмування (C++/C#, Java, Python) за умови узгодження з викладачем та виконати його дослідження у відповідності до заданих умов:

- а) вхідні значення параметрів λ , μ , l ;
- б) зміна параметру λ в декілька разів;
- в) зміна параметру μ в декілька раз;
- г) зміна параметру l в декілька раз;
- д) збільшення часу моделювання у два рази.

Отримати результати досліджень та виконати їх порівняння.

Зміст звіту

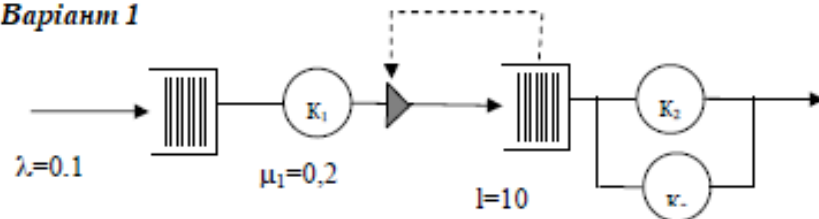
1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.

2. Обов'язково наводиться алгоритм, його програмна реалізація з поясненнями та результати дослідження мережі відносно заданих умов
3. Висновки про переваги та недоліки дослідження мережі МО імітаційними методами, обраного способу побудови алгоритму імітації, отриманих результатах дослідження.

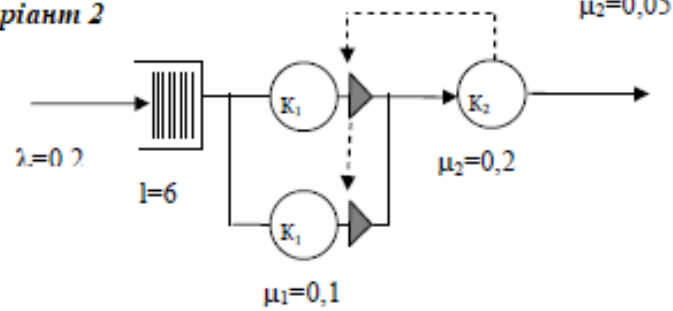
Запитання для самоперевірки

1. Надайте загальну характеристику мережі масового обслуговування та визначте основні її властивості
2. Надайте коротку характеристику способам формалізації мереж масового обслуговування.
3. Охарактеризуйте складові елементи мереж масового обслуговування.
4. Визначте основні параметри, які застосовують в мережі масового обслуговування.
5. Визначте системи, для яких виникає необхідність формалізації із застосуванням засобів мереж масового обслуговування?
6. За яких умов застосовуються тільки імітаційні методи реалізації системи масового обслуговування?
7. Надайте основні етапи побудови алгоритму імітації процесів функціонування дискретних систем?
8. Які способи створення алгоритму просування стану дискретних моделей в залежності від часу існують?
9. Дайте визначення об'єктно-орієнтованому підходу до побудови алгоритму імітації мережі масового обслуговування.

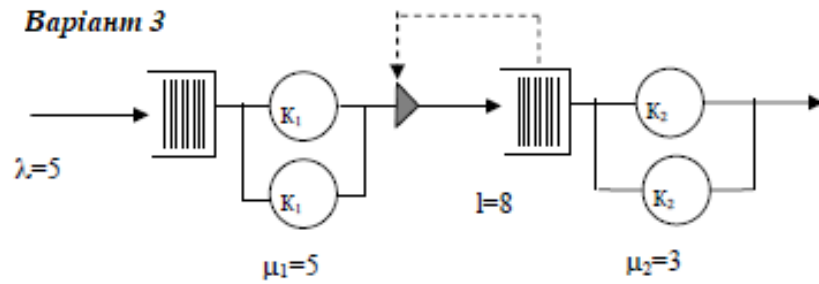
Варіант 1



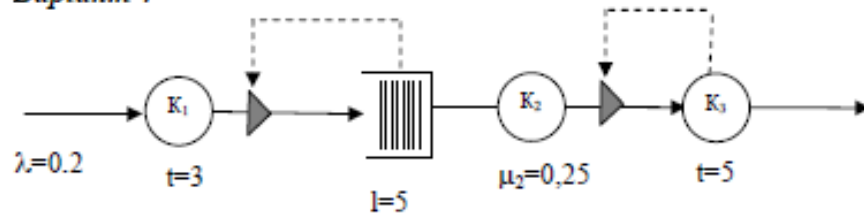
Варіант 2



Варіант 3



Варіант 4



Варіант 5

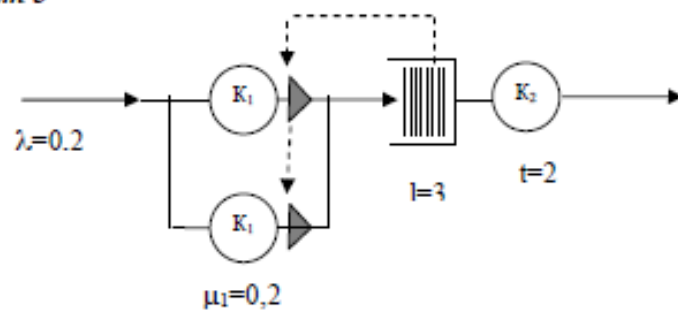


Рисунок 6.1 – Мережа масового обслуговування

Лабораторна робота №7

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МЕТОДІВ

Мета: Набути практичних навичок розробки та реалізації алгоритмів дослідження моделей систем на основі мереж Петрі із використанням сучасних імітаційних методів моделювання.

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. У відповідності до схеми мережі масового обслуговування з лабораторної роботи №6 виконати розробку моделі мережі Петрі та її алгоритм дослідження. Реалізацію отриманого алгоритму імітації моделі мережі Петрі виконати за допомогою програмного середовища CPN Tools або з використанням мов програмування (C++/C#, Java, Python) за умови узгодження з викладачем та здійснити перевірку у відповідності до умов зміни вхідних параметрів моделі. За отриманими результатами виконати порівняльний аналіз за умов застосування різних способів формалізації мережі Петрі.

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.

2. Обов'язково наводиться розроблена формалізована модель мережі Петрі з поясненнями основних їх переходів та позицій, алгоритм її дослідження та його програмна реалізація з відповідними поясненнями та результати перевірки правильності його роботи.

3. Надаються результати дослідження мережі та порівнюються значення вихідних характеристик моделі з тими, що були отримані в лабораторній роботі №6

4. Висновки про збігання або не збігання значень вихідних характеристик моделі, отриманих за допомогою різних способів формалізації – мереж МО та мереж Петрі; про переваги та недоліки використання мереж Петрі для формалізації процесів функціонування дискретних систем.

Запитання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте основні елементи імітаційної моделі мережі Петрі.
2. Надайте коротку характеристику способам формалізації мереж Петрі.
3. Як визначаються матриці входів і виходів мережі Петрі в імітації?
4. Як здійснюється перевірка умови запуску j -переходу мережі Петрі?
5. Яка змінна дозволяє виконати опис стану мережі Петрі?
6. Визначте алгоритм дій реалізації переходу мережі Петрі з часовою затримкою.
7. Які відмінності реалізації багатоканального переходу мережі Петрі та одноканального?
8. Назвіть етапи алгоритму імітаційної моделі простої мережі Петрі.
9. Назвіть етапи алгоритму імітаційної моделі мережі Петрі з конфліктними переходами.
10. Назвіть етапи алгоритму імітаційної моделі мережі Петрі з багатоканальними переходами.
11. Яким чином відбувається реалізація неявного пріоритету запуску конфліктних переходів мережі Петрі?
12. Дайте визначення об'єктно-орієнтованому підходу до побудови алгоритму імітації мережі Петрі.

Лабораторна робота №8

ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ ПЛАНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Мета: Набути практичних навичок з планування та проведення експериментальних досліджень з використанням імітаційних моделей.

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Виконати обчислення обсягу вибірки відгуку моделі імітації, який необхідний для забезпечення точності 3 за відомою довірчою ймовірністю 0,95. Відгук імітаційної моделі розподілений за нормальним законом та його дисперсія складає 126.

2. Виконати обчислення обсягу вибірки відгуку моделі імітації, який необхідний для забезпечення точності 0,05 за відомою довірчою ймовірністю 0,95. Закон розподілу відгуку імітаційної моделі вважається невизначеним, а його середньоквадратичне відхилення складає 0,05.

3. Виконати тактичне і стратегічне планування експериментальних досліджень та провести обчислювальний експеримент із застосуванням імітаційних моделей систем, що реалізовані в лабораторних роботах №6 та №7, у відповідності до розробленого плану. За отриманими результатами забезпечити побудову регресійного рівняння відгуку імітаційної моделі системи. Основні параметри виконання завдання наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Вихідні параметри до завдання №3

№ Варіанту	Характер відгуку імітаційної моделі	План проведення експериментальних досліджень
1	Ймовірність відмови	Повний факторний експеримент
2	Середня довжина черги	Дробовий факторний експеримент
3	Середній час очікування	Повний факторний експеримент
4	Ймовірність відмови	Дробовий факторний експеримент
5	Середня довжина черги	Повний факторний експеримент
6	Середній час очікування	Дробовий факторний експеримент
7	Ймовірність відмови	Повний факторний експеримент
8	Середня довжина черги	Дробовий факторний експеримент
9	Середній час очікування	Повний факторний експеримент
10	Ймовірність відмови	Дробовий факторний експеримент
11	Середня довжина черги	Повний факторний експеримент
12	Середній час очікування	Дробовий факторний експеримент
13	Середній час очікування	Повний факторний експеримент
14	Ймовірність відмови	Дробовий факторний експеримент
15	Середня довжина черги	Повний факторний експеримент

Зміст звіту

1. У звіті на титульному аркуші вказується тема лабораторної роботи. Мета та зміст завдання з відповідним варіантом наводяться безпосередньо на початку формування звіту.
2. Обов'язково зазначаються завдання 1,2 та розв'язок з відповідними поясненнями.
3. Обов'язково зазначається завдання 3 та надається імітаційна модель ММО або мережі Петрі, тактичний і стратегічний плани експериментальних

досліджень, отримані результати виконання експерименту та регресійне рівняння відгуку імітаційної моделі і результати дослідження за ним.

4. Висновки з лабораторної роботи №8 відносно проведення експериментальних досліджень та результатів моделювання та їх точності.

Запитання для самоперевірки

1. Визначте основну структуру проведення експерименту
2. Дайте визначення якісним і кількісним факторам.
3. Визначте головні задачі тактичного та стратегічного планування експерименту.
4. Визначте алгоритм побудови плану повного факторного експерименту у випадку наявності якісних факторів.
5. Визначте алгоритм побудови плану повного факторного експерименту у випадку наявності кількісних факторів.
6. Як виконується розробка плану дробового факторного експерименту?
7. Визначте основні етапи алгоритму проведення дисперсійного аналізу результатів факторного експерименту.
8. Як забезпечується складання регресійного рівняння відгуку моделі?
9. Визначте основні етапи алгоритму регресійного аналізу результатів факторного експерименту.
10. Що собою представляє відтвореність експерименту?
11. Визначте алгоритм оцінювання значущості коефіцієнту регресії?
12. Які критерії оцінювання адекватності регресійного рівняння результатам експерименту існують?
13. Дайте пояснення щодо висновків відносно функціонування моделі, які можна зробити з регресійного рівняння її відгуку.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 399 с.
2. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навч. посіб. / Р.Н. Кветний, І.В. Богач, О.Р. Бойко та ін.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.
3. Методи оптимізації та моделювання: навч. посіб. / С.В. Панченко, М.П. Медиченко, В.П. Лисечко. – Харків : УкрДАЗТ, 2015. – Ч.1. – 128 с.
4. Математичні методи дослідження операцій: підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрик та ін. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 212 с.
5. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. / П.М., Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк. – Київ : НАУ, 2017. – 392 с.
6. Кузьмичов, А. І. Оптимізаційні методи і моделі. Моделювання засобами MS Excel : навч. посіб. – Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. - 215 с.
7. Моделювання та оптимізація систем: підручник / В.М. Дубовой, Р.Н., Кветний, О.І. А.В. Михальов, А.В. Усов. – Вінниця : ПП Еднльвейс, 2017. – 804 с.
8. Обод, І.І. Математичне моделювання систем: навч. посіб. / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько, І.В. Свид; за ред. І.І. Обода. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 268 с.
9. Бутко, М.П. Системний підхід і моделювання в наукових дослідженнях / М.П. Бутко. - Київ : ЦУЛ, 2019. – 360 с.
10. Виклюк, Я.І. Моделювання складних систем: посібник / Я.І. Виклюк, Р.М. Камінський, В.В. Пасічник. - Львів: Новий Світ – 2000, 2020. – 404 с.

11. Антомонов, М.Ю. Математичні методи оброблення та моделювання результатів експериментальних досліджень / М.Ю. Антомонов, Г.В. Коробейніков, І.В. Хмельницька. - Київ : Олімпійська література, 2021. – 216 с.
12. Григорків, В.С. Оптимізаційні методи та моделі: підручник / В.С. Григорків, М.В. Григорків, О.І. Ярошенко. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2022. – 440 с.
13. Оптимізаційні методи та моделі: вибрані завдання для тематичного контролю: навч. посіб. / В.С. Григорків, М.В. Григорків, О.І. Ярошенко, та ін. - Чернівці :ЧНУ, 2022. – 168 с.
14. Кравченко, І.В. Комп'ютерне моделювання: системи і процеси : підручник / І.В. Кравченко, В.І. Микитенко, Г.С. Тимчик. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 215 с.
15. Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання практичних занять з дисципліни «Сучасні методи моделювання» для аспірантів денної та заочної форм навчання галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки [Електронний ресурс] / уклад. Т. В. Алтухова. – Луцьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. – 46 с.
16. Замятіна, О.М. Обчислювальні системи, мережі та телекомунікації. Моделювання мереж [Електронний ресурс] / О.М. Замятіна. – Режим доступу : https://stud.com.ua/98816/informatika/obchislyvalni_sistemi_merezhi_ta_telekomunikatsiyi_modelyuvannya_merezh. – Назва з екрана.
17. Акопов, А.С. Імітаційне моделювання [Електронний ресурс] / А.С. Акопов. – Режим доступу : https://stud.com.ua/145095/informatika/imitatsiyne_modelyuvannya . – Назва з екрана.
18. Боїв, В.Д. Імітаційне моделювання систем [Електронний ресурс] / В. Д. Боїв. - Режим доступу : https://stud.com.ua/163931/informatika/imitatsiyne_modelyuvannya_sistem. – Назва з екрана.