

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики

(інститут)

Факультет інформаційних технологій

(факультет)

Кафедра Системного аналізу та управління

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, магістра)

студента Моторного Андрія Сергійовича

(ПІБ)

академічної групи 124-19-2

(шифр)

спеціальності 124 Системний аналіз

(код і назва спеціальності)

на тему: «Складення розкладу ігор футбольних команд шляхом мінімізації сумарних затрат на переїзд до місць змагання»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Одновол М. М.			
розділів:				
Інформаційно- аналітичний	доц. Одновол М. М.			
Спеціальний	доц. Одновол М. М.			
Рецензент	д-р. т. н., проф. Алексеев М.О.			
Нормоконтролер	К.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Системного аналізу та управління
(повна назва)к.т.н., доц. Т.А. Желдак
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ**на кваліфікаційну роботу****ступеня** бакалавра
(бакалавра, магістра)студенту Моторному Андрію Сергійовичу академічної групи 124-19-2
(прізвище та ініціали) (шифр)спеціальності 124 Системний аналізна тему «Складення розкладу ігор футбольних команд шляхом мінімізації сумарних затрат на переїзд до місць змагання»затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 16.05.2023 № 350-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Інформаційно-аналітичний розділ</i>	<i>Системний аналіз предметної області та постановка задачі</i>	08.04.23- 01.05.23
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>Розробка математичної моделі розкладу ігор клубів футбольних команд з використанням алгоритму транспортної задачі</i>	03.05.23- 10.06.2023

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Одновол М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 18.03.2023Дата подання до екзаменаційної комісії 20.06.2023**Прийнято до виконання**

_____ (підпис студента)

Моторний А.С.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 45 с., 4 рис., 3 табл., 4 додатки, 13 джерел.

Об'єкт дослідження – розклад ігор футбольних команд.

Мета дослідження – розробка математичної моделі складання розкладу ігор футбольного чемпіонату на основі логістичних аспектів.

Предмет дослідження – математична модель складання розкладу ігор футбольних команд з врахуванням логістичних аспектів.

У вступі визначено ключові аспекти дослідження - об'єкт, мету та предмет дослідження, зокрема, важливість оптимізації розкладу ігор футбольних команд для зменшення витрат на перевезення між містами змагань.

Аналітичний розділ включає детальний аналіз існуючих методів складання розкладу ігор футбольних команд.

У спеціальному розділі розроблено математичну модель та алгоритм складання розкладу ігор на основі вирішення логістичних задач.

Запропонований алгоритм дає можливість суттєво знизити загальні витрати на організацію перевезень футбольних команд до місць їх змагань.

Порівняння результатів отриманих в процесі виконання роботи підтвердили ефективність запропонованого алгоритму.

Практичне значення отриманих результатів при їх впровадженні при плануванні розкладу ігор дає можливість знизити витрати при проведенні футбольного чемпіонату.

Ключові слова: РОЗКЛАД ІГОР, МІНІМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛГОРИТМІВ, ЛОГІСТИКА

ABSTRACT

Explanatory note: 45 p., 4 pic., 3 tables, 4 applications, 13 sources.

The object of research is the schedule of games of football teams.

Purpose of the study - to develop a mathematical model for scheduling football championship games based on logistical aspects.

The subject of the study is a mathematical model for scheduling football teams' games based on logistical aspects.

The introduction identifies the key aspects of the study - the object, purpose and subject of the study, in particular, the importance of optimizing the schedule of football teams to reduce the cost of transportation between the cities of the competition.

The analytical section includes a detailed analysis of existing methods of scheduling football teams.

A special section develops a mathematical model and algorithm for scheduling games based on solving logistical problems.

The proposed algorithm makes it possible to significantly reduce the total cost of organizing the transportation of football teams to the places of their competitions.

Comparison of the results obtained in the course of the work has confirmed the effectiveness of the proposed algorithm.

The practical value of the results obtained when implemented in the planning of the game schedule makes it possible to reduce costs during the football championship.

Keywords: GAME SCHEDULE, MINIMIZATION OF TRANSPORTATION COSTS, EFFICIENCY OF ALGORITHMS, LOGISTICS

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Систематичний аналіз предметної області.....	7
1.2 Аналіз математичного забезпечення при плануванні пасажирських перевезень.....	6
1.3 Постановка задачі.....	9
Висновки.....	11
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Дослідження об'єкту з метою отримання вихідних даних для моделювання.....	12
2.2 Розробка математичної моделі планування розкладу ігор футбольних команд.....	16
2.3 Розробка програмного забезпечення для знаходження параметрів математичної моделі планування розкладу ігор футбольних команд.....	17
2.4 Розрахунок економічної ефективності від застосування математичної моделі оптимізації розкладу проведення чемпіонату.....	35
Висновки.....	35
ВИСНОВКИ.....	36
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТКИ.....	38

ВСТУП

У сучасному світі спорту, важливість грамотної організації та управління розкладом ігор футбольних команд стає все більш актуальним. Однією з ключових складових цього процесу є мінімізація сумарних витрат на перевезення між містами, де проводяться змагання. Однак, цей аспект вимагає детального дослідження та розробки ефективних рішень.

Об'єктом цього дослідження є процес складання розкладу ігор футбольних команд шляхом мінімізації сумарних витрат на переїзд між містами змагань. Дослідження включає аналіз різних сценаріїв розподілу команд та врахування відстаней між містами, де проводяться ігри.

Мета даного дослідження полягає у розробці ефективної методики складання розкладу ігор, яка б дозволила мінімізувати загальні витрати на переїзд команд. Зокрема, метою є створення математичної моделі та відповідного алгоритму, які б забезпечили оптимальний розподіл команд з огляду на географічне розташування міст, де проводяться ігри.

Предметом дослідження є математичні та алгоритмічні аспекти процесу складання розкладу ігор, з орієнтацією на мінімізацію витрат на перевезення. Це включає аналіз відстаней між містами, вивчення різних можливих сценаріїв розподілу команд та розробку ефективного алгоритму для вирішення цієї задачі.

У цій роботі обговорюється важливість оптимізації розкладу ігор футбольних команд для мінімізації сумарних витрат на перевезення між містами змагань. Метою роботи є сприяння розвитку організації спортивних змагань шляхом надання ефективних рішень для зниження витрат на транспортування.

1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Систематичний аналіз предметної області

У контексті спортивних змагань, розклад ігор - це деталізований план проведення матчів, який визначає, коли і де команди будуть грати один проти одного. Це включає координацію різних чинників, таких як доступність стадіонів, час для відновлення команд між матчами, транспортні маршрути та інше. Оптимізація розкладу ігор є важливою для ефективного проведення змагань та забезпечення справедливої та балансованої конкуренції.

У світі спорту, особливо в командних змаганнях, є значна кількість витрат, які пов'язані з перевезенням команд між різними місцями проведення ігор. Це включає витрати на транспорт, проживання, харчування та інші логістичні витрати. Ефективне планування та управління цими витратами можуть значно знизити загальні витрати на перевезення, що дозволяє заощадити ресурси для інших аспектів організації змагань.

Це стосується фізичного місця, де проводяться футбольні матчі. Географічне розташування може вплинути на ряд факторів, включаючи витрати на перевезення, доступність стадіонів, кліматичні умови, інфраструктуру та інше. Урахування географічного розташування міст змагань є важливим для оптимізації розкладу ігор та управління витратами на перевезення.

Крім цього, впливаючим чинником при плануванні розкладу є РЕГЛАМЕНТ Всеукраїнських змагань з футболу серед команд клубів Професіональної футбольної ліги сезону 2019/20, у якому зазначено, що чемпіонат проводиться за коловою системою в два кола («Осінь/Весна»), по одному матчу на своєму полі та на полі суперника з кожною командою в Чемпіонаті УПЛ.

Етап плей-офф (передбачений п. 10.1 ст. 5 цього Регламенту) за право участі в УПЛ у наступному сезоні проводиться згідно з Регламентом УПЛ за таким принципом:

- Господар поля в першому матчі плей-офф визначається жеребкуванням, що проводить Дирекція.

- Переможцем за підсумками етапу плей-офф визначається команда, яка забила більшу кількість м'ячів за сумою двох матчів.

- У випадку рівної кількості забитих м'ячів перевагу отримує команда, яка забила більшу кількість м'ячів на чужому полі.

- У випадку рівності обох вищезгаданих показників для визначення переможця після закінчення основного часу другого матчу призначається додатковий час (2 тайми по 15 хвилин). Якщо в додатковий час м'ячів не забито, для виявлення переможця призначається серія 11-метрових ударів згідно з Правилами гри IFAB. п. 1.1.

Матчі проводяться на стадіонах за регіональним принципом та у відповідності до Положення про категорії стадіонів Регламенту УАФ з інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу.

У регламенті міститься обширний обсяг важливої інформації, необхідної для успішного проведення футбольного чемпіонату. Однак, ми не будемо детально перераховувати її.

1.2 Аналіз математичного забезпечення при плануванні пасажирських перевезень

Серед існуючих досліджень та публікацій з приводу чемпіонату по футболу України, які охоплює відкритий доступ, не було знайдено жодних досліджень, присвячених конкретній темі планування розкладу ігор футбольних команд і мінімізації витрат на перевезення.

Ця робота, що розробляє ефективну методичку розкладу ігор, буде однією з перших наукових робіт у цій області.

Для знаходження розкладу ігор футбольних команд шляхом мінімізації сумарних затрат на переїзд до місць змагання можна використати різні математичні підходи і методи, розглянемо декілька із них:

Алгоритм Дейкстри - це алгоритм пошуку найкоротшого шляху у зваженому графі з однією вихідною вершиною. Він ефективно знаходить найкоротші шляхи до всіх інших вершин у неорієнтованому графі без ваг, а також у орієнтованому графі з невід'ємними вагами. Його переваги включають простоту реалізації та швидкість роботи. Однак, алгоритм Дейкстри не працює з графами, у яких є від'ємні ваги [1].

Алгоритм Беллмана-Форда - це алгоритм пошуку найкоротшого шляху в графі з вагами, включаючи графи з від'ємними вагами. Його перевагою є можливість працювати з графами, в яких є від'ємні цикли. Однак, алгоритм Беллмана-Форда має більшу обчислювальну складність, особливо для великих графів, і може вимагати багато пам'яті [2].

Генетичні алгоритми - це еволюційний підхід до оптимізації, який моделює процеси біологічної еволюції. Їх перевагами є здатність знаходити наближені рішення в складних задачах оптимізації та здатність працювати з великими просторами пошуку. Однак, генетичні алгоритми можуть бути обчислювально витратними і вимагати значної кількості ітерацій для досягнення оптимального рішення [3].

1.3 Постановка задачі

Розглянемо ситуацію, коли в спортивному кубку в кожному турі бере участь 2^n команд, тренувальні бази яких розташовані в різних містах, де $n = 1, 2, \dots, k$, k – кількість турів у Лізі.

Змагання проводяться за Регламентом Всеукраїнських змагань з футболу серед команд клубів Професіональної футбольної ліги сезону 2019/20. Задача організаторів змагань полягає в тому, щоб визначити пари команд для чемпіонату таким чином, щоб загальна відстань, яку команди пройдуть при переїздах між містами змагань, була мінімальною.

Це задача оптимізації маршрутів і вона може бути розв'язана за допомогою різних методів, включаючи графові алгоритми та методи лінійного програмування. Вона вирішується за матрицею між місцями проведення змагань.

Аналіз алгоритмів показує, що кожен з алгоритмів вище дає можливість вирішення проблеми планування пасажирських перевезень, але при їх практичній реалізації виникають складності і не враховується ряд чинників які приводять до зменшення ефективності при пасажирських перевезеннях. Враховуючи недоліки розглянутих вище алгоритмів, для вирішення задачі запропонуємо інший метод, який більше підходить для розв'язання нашої задачі, через його:

- Ефективність для задач великої розмірності: Метод може ефективно працювати з задачами великої розмірності, які мають багато змінних і обмежень.

- Повернення оптимального розв'язку: Метод є детермінованим і здатен знайти точний оптимальний розв'язок. Це важливо, оскільки ми хочемо мати гарантований оптимальний розклад ігор для футбольної команди, що дозволить мінімізувати витрати на перевезення.

- Легкість використання з доступними програмними пакетами: Метод має довгу історію і широку підтримку в програмних пакетах та інструментах. Це означає, що ми можемо скористатись існуючими реалізаціями та інструментами для виконання аналізу та розв'язання задачі розкладу ігор.

Хоча запропонований метод має свої мінуси, такі як можливу повільність при вирішенні задач великої розмірності та невпевненість у знаходженні глобального оптимуму, переваги, що він надає, переважають ці недоліки.

Враховуючи вище викладене в даній роботі розробити оптимізаційний алгоритм планування ігор футбольного чемпіонату з врахуванням відстаней між місцями проведення, на базі оптимізованої моделі лінійного програмування.

При вирішенні задачі ми припускаємо, що для переїздів між місцями змагань футбольні команди будуть використовувати автобус класу люкс Mercedes Benz Travego M 17 (рис. 1.1). Цей конкретний автобус вибраний з метою забезпечення комфортної та безпечної транспортації команд між місцями змагань.



Рис 1.1. Автобус Mercedes Benz Travego M 17

1.4 Висновки

Висновки

В інформаційно-аналітичному розділі даного дослідження були розглянуті різні математичні алгоритми, які можуть бути використані для планування пасажирських перевезень футбольних команд чемпіонату. Аналіз алгоритмів Дейкстри, Беллмана-Форда та генетичних алгоритмів показав, що кожен із них має свої переваги та недоліки, однак, враховуючи потреби конкретної задачі та обмеження цих алгоритмів, було запропоновано використання оптимізаційного методу на основі моделі лінійного програмування. Цей метод вирішує проблему оптимізації шляхів для команд, що виступають у чемпіонаті, з метою мінімізації загальних витрат на транспортування між місцями змагань.

2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження об'єкту з метою отримання вихідних даних для моделювання

Задля формування матриці відстаней як вхідних даних поставленої задачі, спочатку присвоїмо командам-учасникам першого туру чемпіонату з футболу умовні позначки:

x_1 – Динамо Київ - базується в столиці України, Києві.

x_2 – Шахтар Донецьк - це видатна футбольна команда, базована в місті Донецьк.

x_3 – Александрія: Футбольний клуб Александрія базується в однойменному місті Александрія, Кіровоградська область.

x_4 – Зоря Луганськ: Зоря Луганськ - це команда, базована в місті Запоріжжя.

x_5 – Альянс: Футбольний клуб Альянс розташований у селі Липова Долина Сумської області.

x_6 – Горняк-Спорт: Горняк-Спорт - це команда з міста Горішні Плавні, Полтавська область.

x_7 – Колос Ковалівка - це команда, розташована в селі Ковалівка, Київська область.

x_8 – Ворскла - це футбольний клуб, базований у місті Полтава.

x_9 – Інгулець - це команда, що базується в селі Петрово, Кіровоградська область.

x_{10} – Дніпро-1 - це команда з міста Дніпро

x_{11} – Маріуполь - це команда з міста Маріуполь, яка виступає в українській Прем'єр-Лізі.

x_{12} – Олімпік Донецьк - це команда з міста Донецьк.

x_{13} – Ніколаєв - це футбольний клуб, базований у місті Миколаїв.

x_{14} – Десна - це команда з міста Чернігів

x_{15} – Минай - це команда, що базується в селі Минай, Ужгородський район, Закарпатська область.

x_{16} – Львів - це команда, базована в місті Львів.

Ми знаємо конкретні футбольні командами та місця їх базування. Використовуючи ці дані, а також вихідну таблицю відстаней між українськими містами, ми можемо обрахувати специфічну матрицю відстаней між містами, де розташовані учасники змагань.

Таблиця відстаней між містами України нам вже відома, вона знаходиться у вільному доступі на просторах інтернету [4,5,6].

Отже, завдяки відомим даним відстаней між містами України (табл. 2.1) ми формуємо матрицю відстаней між містами футбольних команд Ліги, звертаючи увагу на умовні позначки учасників першого туру (табл. 2.2).

Дізнаємось загальні витрати на 1 км для автобуса, враховуючи та економічні чинники, які супроводжують процес транспортування. Для цього візьмем середню ціну [7] на транспортування люкс-автобусом по містам України та поділимо на відстань у км:

Київ – Дніпро = 620 грн за місце (533км)

Київ – Львів = 650 грн за місце (550 км)

Київ – Рівне = 350 грн за місце (318 км)

Київ – Запоріжжя = 820 грн за місце (607 км)

Київ – Житомир = 200 грн за місце (133 км)

Отже, 1 км для одного пасажера коштує $2\,640 \text{ грн} / 2\,141 \text{ км} = 1.23 \text{ грн/км}$. У автобусі Mercedes Benz Travego M 17 – 53 місця, у ньому розміщується уся команда. Отже, 1 км перевезення всієї команди буде коштувати 65.19 грн.

Таблиця 2.1 – Таблиця відстаней між городами України

Місто	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1 Вінниця	0	645	868	125	748	366	256	316	1057	382	360	471	428	593	311	844	602	232	575	734	521	120	343	312	396
2 Дніпропетровськ	645	0	252	664	81	901	533	294	394	805	975	343	468	196	957	446	430	877	1130	213	376	765	324	891	672
3 Донецьк	868	252	0	858	217	1171	727	520	148	1111	1221	611	731	390	1045	591	706	1100	1391	335	560	988	547	1141	867
4 Житомир	125	664	858	0	738	431	131	407	1182	257	423	677	557	468	187	803	477	298	671	690	624	185	321	389	271
5 Запоріжжя	748	81	217	738	0	1119	607	303	365	681	833	377	497	270	925	365	477	977	1488	287	297	875	405	957	747
6 Івано-Франківськ	366	901	1171	431	1119	0	561	618	1402	328	135	747	627	898	296	1070	908	134	280	1040	798	246	709	143	701
7 Київ	256	533	727	131	607	561	0	298	811	388	550	490	489	337	318	972	346	427	806	478	551	315	190	538	149
8 Кіровоград	316	294	520	407	303	618	298	0	668	664	710	174	294	246	627	570	506	547	883	387	225	435	126	637	363
9 Луганськ	1057	394	148	1182	365	1402	811	668	0	1199	1379	857	977	474	1129	739	253	1289	1539	333	806	1177	706	1292	951
10 Луцьк	382	805	1111	257	681	328	388	664	1199	0	152	780	856	725	70	1052	734	159	413	866	869	263	578	336	949
11 Львів	360	975	1221	423	833	135	550	710	1379	152	0	850	970	891	232	1173	896	128	261	1028	1141	240	740	278	690
12 Миколи	471	343	611	677	377	747	490	174	857	780	850	0	120	420	864	282	681	754	999	556	51	590	300	642	640
13 Одеса	428	468	731	557	497	627	489	294	977	856	970	120	0	540	741	392	800	660	1009	831	171	548	420	515	529
14 Полтава	593	196	390	468	270	898	337	246	474	725	891	420	540	0	665	635	261	825	1149	141	471	653	279	892	477
15 Рівно	311	957	1045	187	925	296	318	627	1129	70	232	864	741	665	0	1157	664	162	484	805	834	193	508	331	458
16 Сімферополь	844	446	591	803	365	1070	972	570	739	1052	1173	282	392	635	1157	0	896	1097	1363	652	221	964	696	981	1112
17 Сум	602	430	706	477	477	908	346	506	253	734	896	681	800	261	664	896	0	774	1138	190	732	662	540	883	350
18 Тернопіль	232	877	1100	298	977	134	427	547	1289	159	128	754	660	825	162	1097	774	0	338	987	831	112	575	176	568
19 Ужгород	575	1130	1391	671	1488	280	806	883	1539	413	261	999	1009	1149	484	1363	1138	338	0	1299	1065	455	984	444	951
20 Харків	734	213	335	690	287	1040	478	387	333	866	1028	556	831	141	805	652	190	987	1299	0	576	854	420	1036	608
21 Херсон	521	376	560	624	297	798	551	225	806	869	1141	51	171	471	834	221	732	831	1065	576	0	641	351	713	691
22 Хмельницький	120	765	988	185	875	246	315	435	1177	263	240	590	548	653	193	964	662	112	455	854	641	0	463	190	455
23 Черкаси	343	324	547	321	405	709	190	126	706	578	740	300	420	279	508	696	540	575	984	420	351	463	0	660	330
24 Чернівці	312	891	1141	389	957	143	538	637	1292	336	278	642	515	892	331	981	883	176	444	1036	713	190	660	0	695
25 Чернігів	396	672	867	271	747	701	149	363	951	949	690	640	529	477	458	1112	350	568	951	608	691	455	330	695	0

Таблиця 2.2 – Матриця відстаней між городами футбольних команд

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
x1	0	727	326	607	263	309	79	337	368	533	796	727	490	149	811	550
x2	727	0	462	217	550	425	800	390	403	252	113	0	611	867	1638	1221
x3	326	462	0	232	299	80	317	172	43	169	503	460	260	449	1026	860
x4	607	217	232	0	415	245	544	270	215	81	271	217	377	747	1323	833
x5	263	550	299	415	0	285	341	145	381	340	672	552	755	286	1096	805
x6	309	425	80	245	285	0	360	109	121	180	515	427	338	406	1078	849
x7	79	800	317	544	341	360	0	410	369	485	915	800	424	215	778	548
x8	337	390	172	270	145	109	410	0	212	196	484	390	420	477	1156	891
x9	368	403	43	215	381	121	369	212	0	152	487	403	271	491	1019	902
x10	533	252	169	81	340	180	485	196	152	0	318	252	343	672	1286	975
x11	796	113	503	271	672	515	915	484	487	318	0	113	491	876	1452	1351
x12	727	0	460	217	552	427	800	390	403	252	113	0	611	867	1638	1221
x13	490	611	260	377	755	338	424	420	271	343	491	611	0	640	1079	850
x14	149	867	449	747	286	406	215	477	491	672	876	867	640	0	956	690
x15	811	1638	1026	1323	1096	1078	778	1156	1019	1286	1452	1638	1079	956	0	267
x16	550	1221	860	833	805	849	548	891	902	975	1351	1221	850	690	267	0

2.2 Розробка математичної моделі планування розкладу ігор футбольних команд

Вводимо наступні умовні позначки:

l_{ij} - відстань між i -м та j -м містами, де $i = \overline{1, 2^n}, j = \overline{1, 2^n}$.

x_{ij} - змінна, що приймає значення 1, якщо i -а команда в турі грає з j -ю командою, і значення 0 - в іншому випадку, де $i = \overline{1, 2^n}, j = \overline{1, 2^n}$.

Математична модель задачі має вигляд:

$$y = 2 \sum_{i=1}^{2^n-1} \sum_{j=i+1}^{2^n} l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{x_{ij} \in \Omega}, \quad (2.1)$$

$$\Omega: \sum_{\substack{i=1, \\ i \neq j}}^{2^n} x_{ij} = 1; \quad j = \overline{1, 2^n}, \quad (2.2)$$

$$\sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{2^n} x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, 2^n}, \quad (2.3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, 2^n}, \quad j = \overline{1, 2^n}. \quad (2.4)$$

$$x_{ij} = x_{ji}, \quad i = \overline{1, 2^n}, \quad j = \overline{1, 2^n}. \quad (2.5)$$

Тут цільова функція (2.1) визначає загальні витрати на проведення змагань (при моделюванні витрат враховувалося, що відстані з пункту А в В дорівнює відстані з пункту В в А, а також той факт, що команда не може грати сама з собою).

Обмеження (2.2) говорить про те, що j -а команда має зіграти з однією з $(2^n - 1)$ команд, що залишилися.

Аналогічно обмеження (2.3) каже про те, що i -а команда повинна зіграти з однією з $(2^n - 1)$ команд, що залишилися.

Вираз (2.4) визначає можливі значення змінних.

Рівність (2.5) фіксує той факт, що якщо j -я команда зустрічається з i -ю, то i -я команда, само собою, зустрічається з j -й.

Математична модель задачі при використанні позначень, прийнятих для загальної моделі задачі про розіграш спортивного кубка (2.1) – (2.5), матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 Y = & 2 \cdot (727x_{12} + 326x_{13} + 607x_{14} + 263x_{15} + 309x_{16} + 79x_{17} + 337x_{18} + 368x_{19} + 533x_{110} \\
 & + 796x_{111} + 727x_{112} + 490x_{113} + 149x_{114} + 811x_{115} + 550x_{116} + 462x_{23} + 217x_{24} + 550x_{25} \\
 & + 425x_{26} + 800x_{27} + 390x_{28} + 403x_{29} + 252x_{210} + 113x_{211} + 0x_{212} \\
 & + 611x_{213} + 867x_{214} + 1638x_{215} + 1221x_{216} + 232x_{34} + 299x_{35} + 80x_{36} + 317x_{37} + 172x_{38} + \\
 & 43x_{39} + 169x_{310} + 503x_{311} + 460x_{312} + 260x_{313} + 449x_{314} + 1026x_{315} + 860x_{316} + \\
 & 415x_{45} + 245x_{46} + 544x_{47} + 270x_{48} + 215x_{49} + 81x_{410} + 271x_{411} + 217x_{412} + 377x_{413} + \\
 & 747x_{414} + 1323x_{415} + 833x_{416} + 285x_{56} + 341x_{57} + 145x_{58} + 381x_{59} + 340x_{510} + 672x_{511} \\
 & + 552x_{512} + 755x_{513} + 286x_{514} + 1096x_{515} + 805x_{516} + 360x_{67} + 109x_{68} + 121x_{69} + \\
 & 180x_{610} + 515x_{611} + 427x_{612} + 338x_{613} + 406x_{614} + 1078x_{615} + 849x_{616} + 410x_{78} + 369x_{79} \\
 & + 485x_{710} + 915x_{711} + 800x_{712} + 424x_{713} + 215x_{714} + 778x_{715} + 548x_{716} + 212x_{89} + \\
 & 196x_{810} + 484x_{811} + 390x_{812} + 420x_{813} + 477x_{814} + 1156x_{815} + 891x_{816} + 152x_{910} + \\
 & 487x_{911} + 403x_{912} + 271x_{913} + 491x_{914} + 1019x_{915} + 902x_{916} + 318x_{1011} + 252x_{1012} + \\
 & 343x_{1013} + 672x_{1014} + 1286x_{1015} + 975x_{1016} + 113x_{1112} + 491x_{1113} + 876x_{1114} + 1452x_{1115} + \\
 & 1351x_{1116} + 611x_{1213} + 867x_{1214} + 1638x_{1215} + 1221x_{1216} + 640x_{1314} + 1079x_{1315} + 850x_{1316} \\
 & + 956x_{1415} + 690x_{1416} + 267x_{1516}) \rightarrow \min_{x_{ij} \in \Omega},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Omega: \quad & \sum_{\substack{i=1, \\ i \neq j}}^{16} x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, 16} \\
 & \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{16} x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, 16} \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, 16} \quad j = \overline{1, 16} \quad i \neq j, \\
 & x_{ij} = x_{ji}, \quad i = \overline{1, 16} \quad j = \overline{1, 16} \quad i \neq j.
 \end{aligned}$$

2.3 Розробка програмного забезпечення для знаходження параметрів математичної моделі планування розкладу ігор футбольних команд

Задля розрахунку параметрів математичної моделі, розроблено програмне забезпечення на python (додаток Г).

Для роботи з числами та матрицями ми використовуємо бібліотеку numpy, а для вирішення транспортної задачі - бібліотеку pulp [8].

Спочатку ми визначаємо функцію readfile(filepath), що відкриває файл за вказаним шляхом і зчитує вміст файлу у двовимірний масив. Ми очікуємо, що файл містить рядки значень цілих чисел, розділених пробілами, які представляють матрицю відстаней між містами (додаток В).

Шлях до файлу, що містить матрицю відстаней, вказується як вхідний параметр для функції readfile. Матриця зчитується з файлу і перетворюється в масив numpy для подальшої роботи [9].

Після цього створюється задача з метою мінімізації. Ми використовуємо pulp.LpProblem для створення транспортної задачі із назвою "Оптимізація матриці".

В процесі створення програмного забезпечення визначаються бінарні змінні рішення $x[i][j]$ для кожної пари міст i та j за допомогою pulp.LpVariable. Ці змінні представляють, чи є прямий маршрут між парою міст.

Цільова функція визначається як сума відстаней між містами, помножена на відповідні змінні рішення. Мета полягає у мінімізації цієї суми.

Далі задаються обмеження: кожне місто має маршрут до рівно одного іншого міста, кожне місто має маршрут від рівно одного іншого міста, жодне місто не має маршруту до самого себе і якщо є маршрут від міста i до міста j , то є маршрут i від міста j до міста i [10].

Після того як задача і її обмеження були визначені, ми вирішуємо задачу за допомогою вбудованого розв'язувача pulp.

Після вирішення проблеми ми видобуваємо значення цільової функції і рішення у вигляді матриці. Результати обмежень, матриці рішень та значення цільової функції виводяться на екран. Результатом роботи програмного забезпечення є мінімізація сумарної відстані на перевезення команд між місцями змагань за календарний період [11, 12, 13].

Для вирішення задачі для кожного туру визначаються обмеження, які формуються таким чином:

Обмеження типу А:

$$x_{0_0} + x_{0_1} + x_{0_{10}} + x_{0_{11}} + x_{0_{12}} + x_{0_{13}} + x_{0_{14}} + x_{0_{15}} + x_{0_2} + x_{0_3} + x_{0_4} + x_{0_5} + x_{0_6} + x_{0_7} + x_{0_8} + x_{0_9} = 1, \text{ Slack: } -0.0$$

Це обмеження задає, що команда може зіграти лише 1 раз у турі.

Обмеження типу В:

$$x_{0_0} = 0, \text{ Slack: } -0.0$$

$$x_{1_1} = 0, \text{ Slack: } -0.0$$

Дане обмеження встановлює, що команда не може грати сама з собою.

Обмеження типу С:

$$-x_{0_1} + x_{1_0} = 0, \text{ Slack: } -0.0$$

Це обмеження вказує, що переміщення можливо як і з першого міста в друге, так і з другого – в перше.

Результуюча матриця (приклад):

$$[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1.]$$

$$[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0.]$$

$$[0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0.]$$

$$[0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0.]$$

$$[0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0.]$$

Результуюча матриця показує нам які команди будуть змагатися між собою для досягнення оптимізації сумарних затрат на переїзд до місць змагання.

Всі розрахунки щодо визначення параметрів моделі виконуються за допомогою програмного забезпечення.

Розрахуємо параметри математичної моделі планування розкладу за запропонованим алгоритмом.

На першому етапі проводиться розрахунок параметрів моделі для усіх учасників чемпіонату – 16 футбольних команд, при цьому формуються наступні обмеження у вигляді:

- Обмеження типу А:

Обмеження: $x0_0 + x0_1 + x0_{10} + x0_{11} + x0_{12} + x0_{13} + x0_{14} + x0_{15} + x0_2 + x0_3 + x0_4 + x0_5 + x0_6 + x0_7 + x0_8 + x0_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x1_0 + x1_1 + x1_{10} + x1_{11} + x1_{12} + x1_{13} + x1_{14} + x1_{15} + x1_2 + x1_3 + x1_4 + x1_5 + x1_6 + x1_7 + x1_8 + x1_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x2_0 + x2_1 + x2_{10} + x2_{11} + x2_{12} + x2_{13} + x2_{14} + x2_{15} + x2_2 + x2_3 + x2_4 + x2_5 + x2_6 + x2_7 + x2_8 + x2_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x3_0 + x3_1 + x3_{10} + x3_{11} + x3_{12} + x3_{13} + x3_{14} + x3_{15} + x3_2 + x3_3 + x3_4 + x3_5 + x3_6 + x3_7 + x3_8 + x3_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x4_0 + x4_1 + x4_{10} + x4_{11} + x4_{12} + x4_{13} + x4_{14} + x4_{15} + x4_2 + x4_3 + x4_4 + x4_5 + x4_6 + x4_7 + x4_8 + x4_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x5_0 + x5_1 + x5_{10} + x5_{11} + x5_{12} + x5_{13} + x5_{14} + x5_{15} + x5_2 + x5_3 + x5_4 + x5_5 + x5_6 + x5_7 + x5_8 + x5_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x6_0 + x6_1 + x6_{10} + x6_{11} + x6_{12} + x6_{13} + x6_{14} + x6_{15} + x6_2 + x6_3 + x6_4 + x6_5 + x6_6 + x6_7 + x6_8 + x6_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x7_0 + x7_1 + x7_{10} + x7_{11} + x7_{12} + x7_{13} + x7_{14} + x7_{15} + x7_2 + x7_3 + x7_4 + x7_5 + x7_6 + x7_7 + x7_8 + x7_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x8_0 + x8_1 + x8_{10} + x8_{11} + x8_{12} + x8_{13} + x8_{14} + x8_{15} + x8_2 + x8_3 + x8_4 + x8_5 + x8_6 + x8_7 + x8_8 + x8_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x9_0 + x9_1 + x9_{10} + x9_{11} + x9_{12} + x9_{13} + x9_{14} + x9_{15} + x9_2 + x9_3 + x9_4 + x9_5 + x9_6 + x9_7 + x9_8 + x9_9 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x10_0 + x10_1 + x10_{10} + x10_{11} + x10_{12} + x10_{13} + x10_{14} + x10_{15} + x10_2 + x10_3 + x10_4 + x10_5 + x10_6 + x10_7 + x10_8 + x10_9 = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x11_0 + x11_1 + x11_{10} + x11_{11} + x11_{12} + x11_{13} + x11_{14} + x11_{15} + x11_2 + x11_3 + x11_4 + x11_5 + x11_6 + x11_7 + x11_8 + x11_9 = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x12_0 + x12_1 + x12_{10} + x12_{11} + x12_{12} + x12_{13} + x12_{14} + x12_{15} + x12_2 + x12_3 + x12_4 + x12_5 + x12_6 + x12_7 + x12_8 + x12_9 = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x_{13_0} + x_{13_1} + x_{13_10} + x_{13_11} + x_{13_12} + x_{13_13} + x_{13_14} + x_{13_15} + x_{13_2} + x_{13_3} + x_{13_4} + x_{13_5} + x_{13_6} + x_{13_7} + x_{13_8} + x_{13_9} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x_{14_0} + x_{14_1} + x_{14_10} + x_{14_11} + x_{14_12} + x_{14_13} + x_{14_14} + x_{14_15} + x_{14_2} + x_{14_3} + x_{14_4} + x_{14_5} + x_{14_6} + x_{14_7} + x_{14_8} + x_{14_9} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x_{15_0} + x_{15_1} + x_{15_10} + x_{15_11} + x_{15_12} + x_{15_13} + x_{15_14} + x_{15_15} + x_{15_2} + x_{15_3} + x_{15_4} + x_{15_5} + x_{15_6} + x_{15_7} + x_{15_8} + x_{15_9} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_0} + x_{10_0} + x_{11_0} + x_{12_0} + x_{13_0} + x_{14_0} + x_{15_0} + x_{1_0} + x_{2_0} + x_{3_0} + x_{4_0} + x_{5_0} + x_{6_0} + x_{7_0} + x_{8_0} + x_{9_0} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_1} + x_{10_1} + x_{11_1} + x_{12_1} + x_{13_1} + x_{14_1} + x_{15_1} + x_{1_1} + x_{2_1} + x_{3_1} + x_{4_1} + x_{5_1} + x_{6_1} + x_{7_1} + x_{8_1} + x_{9_1} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_2} + x_{10_2} + x_{11_2} + x_{12_2} + x_{13_2} + x_{14_2} + x_{15_2} + x_{1_2} + x_{2_2} + x_{3_2} + x_{4_2} + x_{5_2} + x_{6_2} + x_{7_2} + x_{8_2} + x_{9_2} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_3} + x_{10_3} + x_{11_3} + x_{12_3} + x_{13_3} + x_{14_3} + x_{15_3} + x_{1_3} + x_{2_3} + x_{3_3} + x_{4_3} + x_{5_3} + x_{6_3} + x_{7_3} + x_{8_3} + x_{9_3} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_4} + x_{10_4} + x_{11_4} + x_{12_4} + x_{13_4} + x_{14_4} + x_{15_4} + x_{1_4} + x_{2_4} + x_{3_4} + x_{4_4} + x_{5_4} + x_{6_4} + x_{7_4} + x_{8_4} + x_{9_4} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_5} + x_{10_5} + x_{11_5} + x_{12_5} + x_{13_5} + x_{14_5} + x_{15_5} + x_{1_5} + x_{2_5} + x_{3_5} + x_{4_5} + x_{5_5} + x_{6_5} + x_{7_5} + x_{8_5} + x_{9_5} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_6} + x_{10_6} + x_{11_6} + x_{12_6} + x_{13_6} + x_{14_6} + x_{15_6} + x_{1_6} + x_{2_6} + x_{3_6} + x_{4_6} + x_{5_6} + x_{6_6} + x_{7_6} + x_{8_6} + x_{9_6} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_7} + x_{10_7} + x_{11_7} + x_{12_7} + x_{13_7} + x_{14_7} + x_{15_7} + x_{1_7} + x_{2_7} + x_{3_7} + x_{4_7} + x_{5_7} + x_{6_7} + x_{7_7} + x_{8_7} + x_{9_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_8} + x_{10_8} + x_{11_8} + x_{12_8} + x_{13_8} + x_{14_8} + x_{15_8} + x_{1_8} + x_{2_8} + x_{3_8} + x_{4_8} + x_{5_8} + x_{6_8} + x_{7_8} + x_{8_8} + x_{9_8} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_9} + x_{10_9} + x_{11_9} + x_{12_9} + x_{13_9} + x_{14_9} + x_{15_9} + x_{1_9} + x_{2_9} + x_{3_9} + x_{4_9} + x_{5_9} + x_{6_9} + x_{7_9} + x_{8_9} + x_{9_9} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{10} + x10_{10} + x11_{10} + x12_{10} + x13_{10} + x14_{10} + x15_{10} + x1_{10} + x2_{10} + x3_{10} + x4_{10} + x5_{10} + x6_{10} + x7_{10} + x8_{10} + x9_{10} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{11} + x10_{11} + x11_{11} + x12_{11} + x13_{11} + x14_{11} + x15_{11} + x1_{11} + x2_{11} + x3_{11} + x4_{11} + x5_{11} + x6_{11} + x7_{11} + x8_{11} + x9_{11} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{12} + x10_{12} + x11_{12} + x12_{12} + x13_{12} + x14_{12} + x15_{12} + x1_{12} + x2_{12} + x3_{12} + x4_{12} + x5_{12} + x6_{12} + x7_{12} + x8_{12} + x9_{12} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{13} + x10_{13} + x11_{13} + x12_{13} + x13_{13} + x14_{13} + x15_{13} + x1_{13} + x2_{13} + x3_{13} + x4_{13} + x5_{13} + x6_{13} + x7_{13} + x8_{13} + x9_{13} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{14} + x10_{14} + x11_{14} + x12_{14} + x13_{14} + x14_{14} + x15_{14} + x1_{14} + x2_{14} + x3_{14} + x4_{14} + x5_{14} + x6_{14} + x7_{14} + x8_{14} + x9_{14} = 1$,
Slack: -0.0

Обмеження: $x0_{15} + x10_{15} + x11_{15} + x12_{15} + x13_{15} + x14_{15} + x15_{15} + x1_{15} + x2_{15} + x3_{15} + x4_{15} + x5_{15} + x6_{15} + x7_{15} + x8_{15} + x9_{15} = 1$,
Slack: -0.0

· Обмеження типу В:

Обмеження: $x0_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x1_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x2_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x3_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x4_4 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x5_5 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x6_6 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x7_7 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x8_8 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x9_9 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{10_10} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{11_11} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{12_12} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{13_13} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{14_14} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{15_15} = 0$, Slack: -0.0

· Обмеження типу C:

Обмеження: $-x_{0_1} + x_{1_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_2} + x_{2_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_3} + x_{3_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_4} + x_{4_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_5} + x_{5_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_6} + x_{6_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_7} + x_{7_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_8} + x_{8_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_9} + x_{9_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_10} + x_{10_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_11} + x_{11_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_12} + x_{12_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_13} + x_{13_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_14} + x_{14_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_15} + x_{15_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_2} + x_{2_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_3} + x_{3_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_4} + x_{4_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_5} + x_{5_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_6} + x_{6_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_7} + x_{7_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_8} + x_{8_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_9 + x9_1 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x10_1 - x1_10 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x11_1 - x1_11 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x12_1 - x1_12 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x13_1 - x1_13 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x14_1 - x1_14 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x15_1 - x1_15 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_3 + x3_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_4 + x4_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_5 + x5_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_6 + x6_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_7 + x7_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_8 + x8_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x2_9 + x9_2 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x10_2 - x2_10 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x11_2 - x2_11 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x12_2 - x2_12 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x13_2 - x2_13 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x14_2 - x2_14 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x15_2 - x2_15 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_4 + x4_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_5 + x5_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_6 + x6_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_7 + x7_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_8 + x8_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x3_9 + x9_3 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x10_3 - x3_10 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x11_3 - x3_11 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x12_3 - x3_12 = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x13_3 - x3_13 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{14_3} - x_{3_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_3} - x_{3_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{4_5} + x_{5_4} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{4_6} + x_{6_4} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{4_7} + x_{7_4} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{4_8} + x_{8_4} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{4_9} + x_{9_4} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_4} - x_{4_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_4} - x_{4_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_4} - x_{4_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_4} - x_{4_13} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{14_4} - x_{4_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_4} - x_{4_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{5_6} + x_{6_5} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{5_7} + x_{7_5} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{5_8} + x_{8_5} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{5_9} + x_{9_5} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_5} - x_{5_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_5} - x_{5_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_5} - x_{5_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_5} - x_{5_13} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{14_5} - x_{5_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_5} - x_{5_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{6_7} + x_{7_6} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{6_8} + x_{8_6} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{6_9} + x_{9_6} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_6} - x_{6_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_6} - x_{6_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_6} - x_{6_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_6} - x_{6_13} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{14_6} - x_{6_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_6} - x_{6_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{7_8} + x_{8_7} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{7_9} + x_{9_7} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_7} - x_{7_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_7} - x_{7_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_7} - x_{7_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_7} - x_{7_13} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{14_7} - x_{7_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_7} - x_{7_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{8_9} + x_{9_8} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_8} - x_{8_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_8} - x_{8_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_8} - x_{8_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_8} - x_{8_13} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{14_8} - x_{8_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_8} - x_{8_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{10_9} - x_{9_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{11_9} - x_{9_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{12_9} - x_{9_12} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{13_9} - x_{9_13} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{14_9} - x_{9_14} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $x_{15_9} - x_{9_15} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{10_11} + x_{11_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{10_12} + x_{12_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{10_13} + x_{13_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{10_14} + x_{14_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{10_15} + x_{15_10} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{11_12} + x_{12_11} = 0$, Slack: -0.0
Обмеження: $-x_{11_13} + x_{13_11} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{11_14} + x_{14_11} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{11_15} + x_{15_11} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{12_13} + x_{13_12} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{12_14} + x_{14_12} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{12_15} + x_{15_12} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{13_14} + x_{14_13} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{13_15} + x_{15_13} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{14_15} + x_{15_14} = 0$, Slack: -0.0

Результатом планування графіка ігор для першого тура чемпіонату є матриця A:

```
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0.]
[0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1.]
[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0.]
```

Отже, команди мають зіграти наступним чином, для того, щоб цільова функція приймала своє мінімальне значення:

x_1 VS x_7

x_2 VS x_{12}

x_3 VS x_9

x_4 VS x_{10}

x_5 VS x_{14}

x_6 VS x_8

x_{11} VS x_{13}

x_{15} VS x_{16}

За допомогою програмного забезпечення ми отримали такий результат мінімального значення Цільової функції для першого тура чемпіонату: Цільова функція дорівнює 2712.0 км.

У наступний тур пройшли такі команди:

x_1 – Динамо Київ

x_3 – Александрія

x_4 – Зоря Луганськ

x_5 – Альянс

x_8 – Ворскла

x_{12} – Олімпік Донецьк

x_{13} – Миколаїв

x_{15} – Минай

Наступні розрахунки проведені для четверть фіналу, де приймають участь – 8 футбольних команд, при цьому формуються наступні обмеження у вигляді:

· Обмеження типу А:

Обмеження: $x_{0_0} + x_{0_1} + x_{0_2} + x_{0_3} + x_{0_4} + x_{0_5} + x_{0_6} + x_{0_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{1_0} + x_{1_1} + x_{1_2} + x_{1_3} + x_{1_4} + x_{1_5} + x_{1_6} + x_{1_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{2_0} + x_{2_1} + x_{2_2} + x_{2_3} + x_{2_4} + x_{2_5} + x_{2_6} + x_{2_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{3_0} + x_{3_1} + x_{3_2} + x_{3_3} + x_{3_4} + x_{3_5} + x_{3_6} + x_{3_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{4_0} + x_{4_1} + x_{4_2} + x_{4_3} + x_{4_4} + x_{4_5} + x_{4_6} + x_{4_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{5_0} + x_{5_1} + x_{5_2} + x_{5_3} + x_{5_4} + x_{5_5} + x_{5_6} + x_{5_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{6_0} + x_{6_1} + x_{6_2} + x_{6_3} + x_{6_4} + x_{6_5} + x_{6_6} + x_{6_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{7_0} + x_{7_1} + x_{7_2} + x_{7_3} + x_{7_4} + x_{7_5} + x_{7_6} + x_{7_7} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_0 + x1_0 + x2_0 + x3_0 + x4_0 + x5_0 + x6_0 + x7_0 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_1 + x1_1 + x2_1 + x3_1 + x4_1 + x5_1 + x6_1 + x7_1 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_2 + x1_2 + x2_2 + x3_2 + x4_2 + x5_2 + x6_2 + x7_2 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_3 + x1_3 + x2_3 + x3_3 + x4_3 + x5_3 + x6_3 + x7_3 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_4 + x1_4 + x2_4 + x3_4 + x4_4 + x5_4 + x6_4 + x7_4 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_5 + x1_5 + x2_5 + x3_5 + x4_5 + x5_5 + x6_5 + x7_5 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_6 + x1_6 + x2_6 + x3_6 + x4_6 + x5_6 + x6_6 + x7_6 = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x0_7 + x1_7 + x2_7 + x3_7 + x4_7 + x5_7 + x6_7 + x7_7 = 1$, Slack: -0.0

· Обмеження типу В:

Обмеження: $x0_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x1_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x2_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x3_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x4_4 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x5_5 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x6_6 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x7_7 = 0$, Slack: -0.0

· Обмеження типу С:

Обмеження: $-x0_1 + x1_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_2 + x2_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_3 + x3_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_4 + x4_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_5 + x5_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_6 + x6_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x0_7 + x7_0 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_2 + x2_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_3 + x3_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_4 + x4_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_5 + x5_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_6 + x6_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x1_7 + x7_1 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x2_3 + x3_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x2_4 + x4_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x2_5 + x5_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x2_6 + x6_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x2_7 + x7_2 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x3_4 + x4_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x3_5 + x5_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x3_6 + x6_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x3_7 + x7_3 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x4_5 + x5_4 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x4_6 + x6_4 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x4_7 + x7_4 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x5_6 + x6_5 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x5_7 + x7_5 = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x6_7 + x7_6 = 0$, Slack: -0.0

Результатом планування графіка ігор для другого тура чемпіонату є матриця В:

[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1.]

[0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0.]

[0. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 0. 0.]

[0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0.]

[0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0.]

[0. 0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

[0. 1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

[1. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

Матчі, які команди мають зіграти наступним чином, для того, щоб цільова функція приймала своє мінімальне значення:

$x1$ VS $x15$

x_3 VS x_{13}

x_4 VS x_{12}

x_5 VS x_8

Отже за допомогою програмного забезпечення ми отримали такий результат мінімального значення цільової функції для другого тура чемпіонату: Цільова функція дорівнює 2866.0 км.

У наступний тур пройшли такі команди:

x_1 – Динамо Київ

x_3 – Александрія

x_4 – Зоря Луганськ

x_5 – Альянс

Подальші розрахунки проведені для полу-фіналу, де приймають участь – 4 футбольних команди, при цьому формуються наступні обмеження у вигляді:

· Обмеження типу А:

Обмеження: $x_{0_0} + x_{0_1} + x_{0_2} + x_{0_3} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{1_0} + x_{1_1} + x_{1_2} + x_{1_3} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{2_0} + x_{2_1} + x_{2_2} + x_{2_3} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{3_0} + x_{3_1} + x_{3_2} + x_{3_3} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_0} + x_{1_0} + x_{2_0} + x_{3_0} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_1} + x_{1_1} + x_{2_1} + x_{3_1} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_2} + x_{1_2} + x_{2_2} + x_{3_2} = 1$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{0_3} + x_{1_3} + x_{2_3} + x_{3_3} = 1$, Slack: -0.0

· Обмеження типу В:

Обмеження: $x_{0_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{1_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{2_2} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $x_{3_3} = 0$, Slack: -0.0

· Обмеження типу С:

Обмеження: $-x_{0_1} + x_{1_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_2} + x_{2_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{0_3} + x_{3_0} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_2} + x_{2_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{1_3} + x_{3_1} = 0$, Slack: -0.0

Обмеження: $-x_{2_3} + x_{3_2} = 0$, Slack: -0.0

Результатом планування графіка ігор для третього тура чемпіонату є матриця С:

[0. 0. 0. 1.]

[0. 0. 1. 0.]

[0. 1. 0. 0.]

[1. 0. 0. 0.]

У цей раз для досягнення мінімального значення цільової функції футбольні команди мають зіграти наступним чином:

x_1 VS x_5

x_3 VS x_4

Мінімальне значення цільової функції буде становити:

Цільова функція дорівнює 990.0 км.

Наступний тур має склад з таких команд:

x_1 – Динамо Київ

x_4 – Зоря Луганськ

Останні розрахунки проведені для фіналу, де приймають участь – 2 футбольних команд, де немає важливості хто к кому поїде, тому що відстань між містами 1 та 2 дорівнює відстані між городами 2 та 1:

Цільова функція дорівнює 607 км. Переможець чемпіонату – Динамо Київ.

Аналіз результатів:

Для отримання кінцевого результату сумарної цільової функції для всіх команд – треба скласти цільові функції за всі тури чемпіонату.

Відстань, яку командам потрібно проїхати за оптимізованим маршрутом = $2712.0 \text{ км} + 2866.0 \text{ км} + 990.0 \text{ км} + 607.0 \text{ км} = 7\ 175 \text{ км}$.

Із вирішення оптимізаційної задачі випливає, що в чемпіонаті повинні зустрітися такі пари команд:

1-7, 2-12, 3-9, 4-10, 5-14, 6-8, 11-13, 15-16, 1-15, 3-13, 4-12, 5-8, 1-5, 3-4, 1-4.

Щоб оцінити ефективність оптимізації, ми порівняємо відстань, яку командам потрібно проїхати за оптимізованим маршрутом, з відстанню, яку командам довелося проїхати у чемпіонаті з футболу України за 2019 – 2020 рік (табл. 2.3).

Розрахунок загальної відстані для чемпіонату за 2019 – 2020 рік.

- Старт (16 команд)

Хто з ким буде змагатися по командам:

1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, 13-14, 15-16

Цільова функція дорівнює 6160.0 км.

- Четверті фіналу (8 команд)

У наступний тур пройшли такі команди:

14 - 8, 1 – 3, 5 – 11, 15- 9

Цільова функція дорівнює 2494 км.

- ½ Фіналу (4 Команди)

У наступний тур пройшли такі команди:

11 – 8, 15 - 1

Цільова функція дорівнює 534 км.

- Фінал (2 Команди)

1 - 8

Цільова функція дорівнює 368 км.

Переможець чемпіонату – Динамо Київ.































Відстань, яку командам потрібно проїхати без оптимізованого маршруту = 6160.0 км. + 2494 км. + 534 км. + 368 км. = 9 556 км.

Для оцінки ефективності запропонованого алгоритму порівняємо сумарну відстань, яку необхідно подолати з врахуванням запропонованого алгоритму та відстань на здійснення перевезень футбольних команд чемпіонату України за

2019-2020 рік, отримаємо наступні результати: 7 175 км (із застосуванням запропонованого алгоритму) < 9 556 км (без застосування запропонованого алгоритму).

Таблиця 2.3.

Турнірна таблиця чемпіонату по футболу України за 2019 – 2020 рік

Фінал	Динамо К 	1 : 1	Ворскла 	1 : 1 <small>0:2 пен</small>
1/2 фінала	Минай 	0 : 2	Динамо К 	0 : 2
	Маріуполь 	1 : 1	Ворскла 	1 : 1 <small>2:3 пен</small>
1/4 фінала	Минай 	1 : 1	Інгулець 	1 : 1 <small>0:5 пен</small>
	Альянс 	2 : 4	Маріуполь 	2 : 4
	Динамо К 	1 : 0	Александрія 	1 : 0 <small>0:0 пен</small>
	Десна 	0 : 1	Ворскла 	0 : 1
1/8 фінала	Минай 	2 : 0	Львів 	2 : 0
	Николаєв 	2 : 4	Десна 	2 : 4
	Маріуполь 	1 : 0	Олімпік Д 	1 : 0
	Інгулець 	2 : 1	Дніпр-1 	2 : 1
	Колос К 	0 : 1	Ворскла 	0 : 1
	Альянс 	5 : 3	Горняк-Спорт 	5 : 3
	Александрія 	1 : 1	Зоря Лг 	1 : 1 <small>5:0 пен</small>
	Динамо К 	2 : 1	Шахтер Д 	2 : 1 <small>0:0 пен</small>

В результаті реалізації алгоритму було отримано оптимальний маршрут, який забезпечує мінімізацію сумарної відстані і дозволяє нам скоротити на переїзд між місцями змагань - 2 381 км відстані.

2.4 Розрахунок економічної ефективності від застосування математичної моделі оптимізації розкладу проведення чемпіонату

За результатом наших допущень розрахуємо економічну ефективність для варіанту з алгоритмом та без алгоритму.

Відстані беремо з попередніх розрахунків: 7 175 км (з алгоритмом), 9 556 км (без алгоритму), попередньо ми визначили, що на 1 км подорожі буде витрачатися 65.19 грн.

Отже, сумарні витрати маршруту оптимізованого за алгоритмом: $7\,175 \text{ км} * 65.19 \text{ грн} = 467\,738.25 \text{ грн}$

Сумарні витрати для маршруту чемпіонату по Футболу України 2019-2020 року (без алгоритму): $9\,556 \text{ км} * 65.19 \text{ грн} = 622\,955.64 \text{ грн}$

Ефективність від впровадженої математичної моделі складає: $622\,955.64 \text{ грн} - 467\,738.25 \text{ грн} = 155\,217.39 \text{ грн}$

2.5 Висновки

Висновок

Розроблена математична модель планування розкладу проведення чемпіонату з футболу України дозволяє знаходити оптимальний маршрут для команд-гравців з метою мінімізації сумарної відстані і затрат на переїзд між місцями змагань. Вона враховує відстані між місцями змагань, обмеження на кількість ігор команд, а також можливість переміщення між містами в обидва напрямки. Результатом є оптимальний розклад ігор та зменшення витрат на транспортування команд між місцями змагань.

ВИСНОВКИ

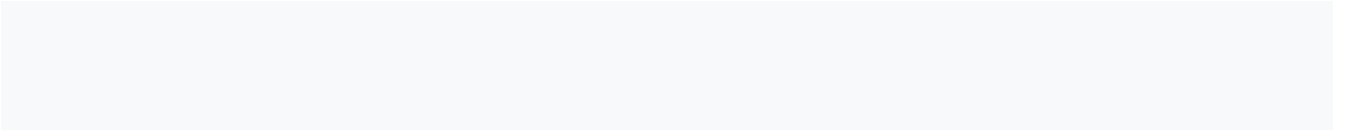
У ході цього дослідження було визначено важливість оптимізації процесу складання розкладу ігор футбольних команд з метою мінімізації сумарних витрат на перевезення між містами змагань. Була розроблена ефективна методика складання розкладу ігор, яка забезпечує мінімізацію загальних витрат на переїзд команд. Ця методика ґрунтується на створенні математичної моделі та розробці відповідного алгоритму.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленої методики при організації футбольних змагань. Застосування цих розробок може допомогти знизити витрати на переїзд між місцями змагань та зробити процес планування чемпіонату з футболу ефективнішим.

Отримані результати демонструють ефективність запропонованого підходу планування календаря чемпіонату.

На основі розробленого математичного забезпечення можливо ефективно планування проведення чемпіонату.

Таким чином запропонована розробка має практичне значення у сфері спорт. Логістики при здійсненні логістичних операцій.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Дослідження операцій Частина 2. Алгоритми оптимізації на графах, 2007: М. Я. Бартіш, І. М. Дудзяний С. 34 ISBN 966-613-496-9
2. Дослідження операцій Частина 2. Алгоритми оптимізації на графах, 2007: М. Я. Бартіш, І. М. Дудзяний С. 37 ISBN 966-613-496-9
3. РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ НА КЛАСТЕРНИХ СИСТЕМАХ В.В. Фальфушинський С. 129 УДК 680.3.06. ISSN 1727-4907. Проблеми програмування, 2008: № 2-3. Спеціальний випуск
4. Електронний ресурс. Доступ: <https://mc-trans.com/information/ukraine-cities-distances.php>
5. Українська Прем'єр-Ліга. Електронний ресурс. Доступ: <https://upl.ua/ua/>
6. Дані чемпіонату з футболу України за 2019 – 2020 рік. Електронний ресурс. Доступ: <https://www.sport-express.ua/football/L/foreign/ukraine/cup/2019-2020/playoff/>
7. Електронний ресурс. Доступ: <https://www.blablacar.com.ua/>
8. Електронний ресурс. Доступ: <https://coin-or.github.io/pulp/main/index.html>
9. Електронний ресурс. Доступ: <https://numpy.org/doc/stable/>
10. Гоголева М. А. Класифікація та аналіз методів маршрутизації в MESH-мережах // Радіо-техніка. 2008. Вип. 155. - С. 173-185.
11. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ О.І. Лисенко, І.В. Алексеєва С. 43
12. Мельничук, Ю. П., & Мельничук, А. Ю. Оптимізація та моделювання: навчальний посібник, 2012: Київ: Наукова думка.
13. Дантціг, Дж. Лінійне програмування та розширення, 2007: М.: Наука.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Відомості матеріалів кваліфікаційної роботи

№ з/п	Позначення				Назва	Кількість	Примітки		
1									
2					Документація				
3									
4	САУ.КР.23.10.ПЗ				Пояснювальна записка	45	Формат А4		
5									
6					Демонстраційні матеріали	21	Презентація на CD-R		
7									
8					Копія роботи	1	Диск CD-R		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
					САУ.КР.23.10.ДА.ПЗ.				
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Моторний			Матеріали кваліфікаційної роботи	Літ.	Аркуш	Аркушів	
К. розд.		Одновол							
Керівн.		Одновол							
Н.контр.		Хом'як							
Зав. каф.		Желдак							
						НТУ «ДП», 12; 124-19-2			

ДОДАТОК Б

Відгук

на кваліфікаційну роботу бакалавра за спеціальністю 124 Системний аналіз

студента групи 124-19-2

Моторного Андрія Сергійовича

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Доцент кафедри системного аналізу та управління

М.М. Одновол

ДОДАТОК В

Блок схема програмного забезпечення для розрахунку параметрів математичної моделі планування розкладу ігор

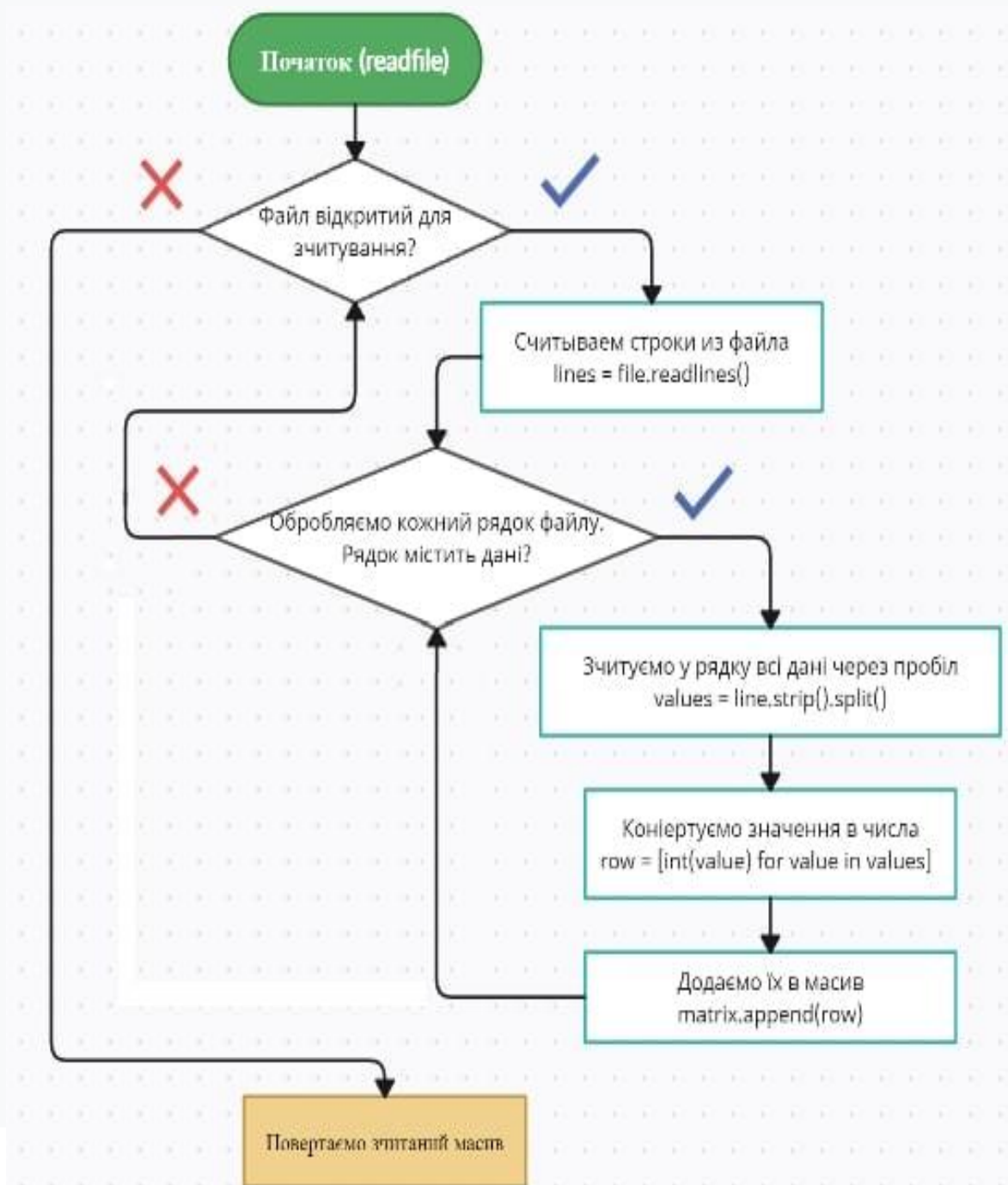


Рис В.1. Блок-схема зчитування вхідної матриці відстаней

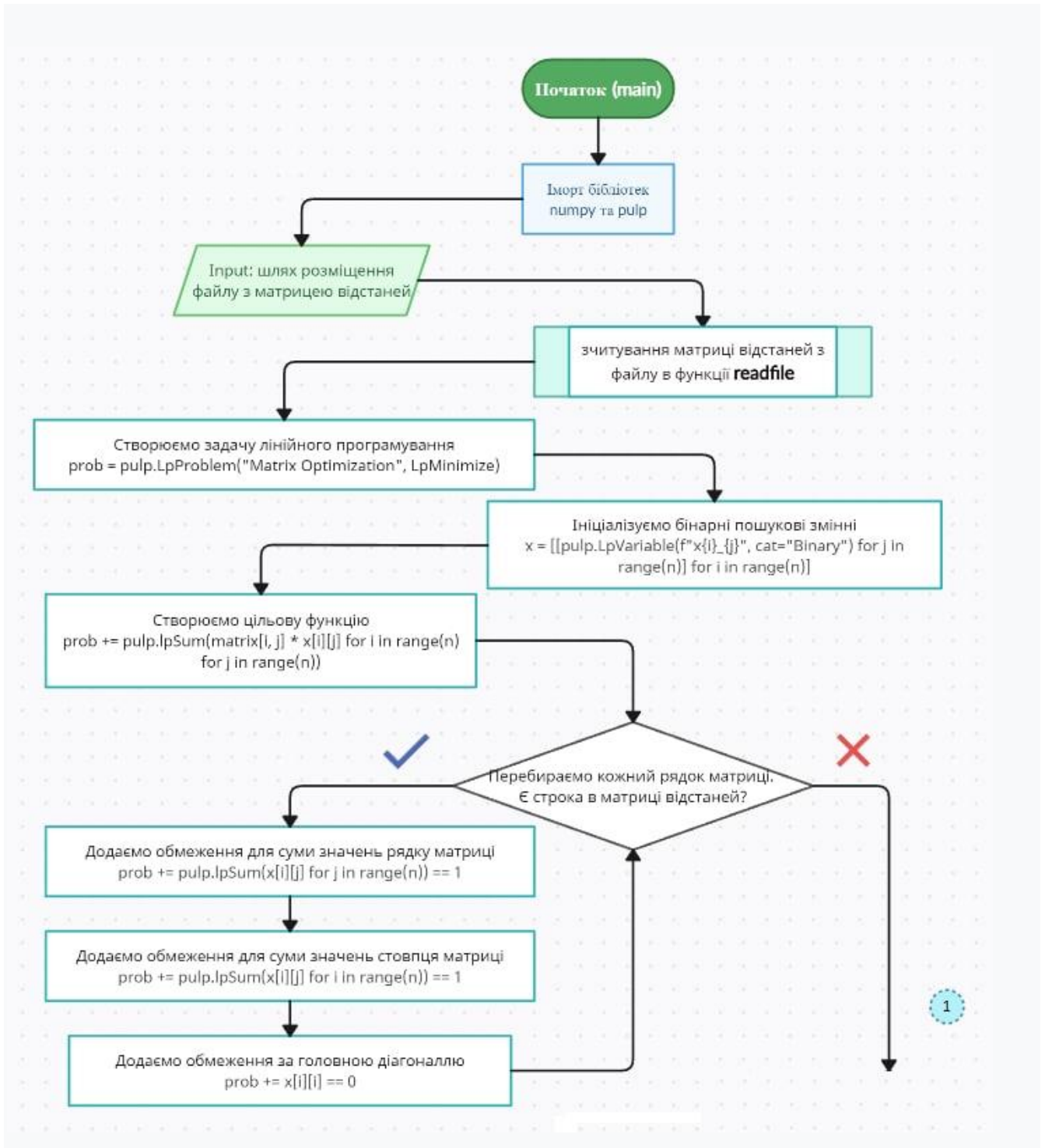


Рис. В.2. Блок-схема для розрахунку параметрів математичної моделі планування розкладу ігор

Продовження рис. В.2.

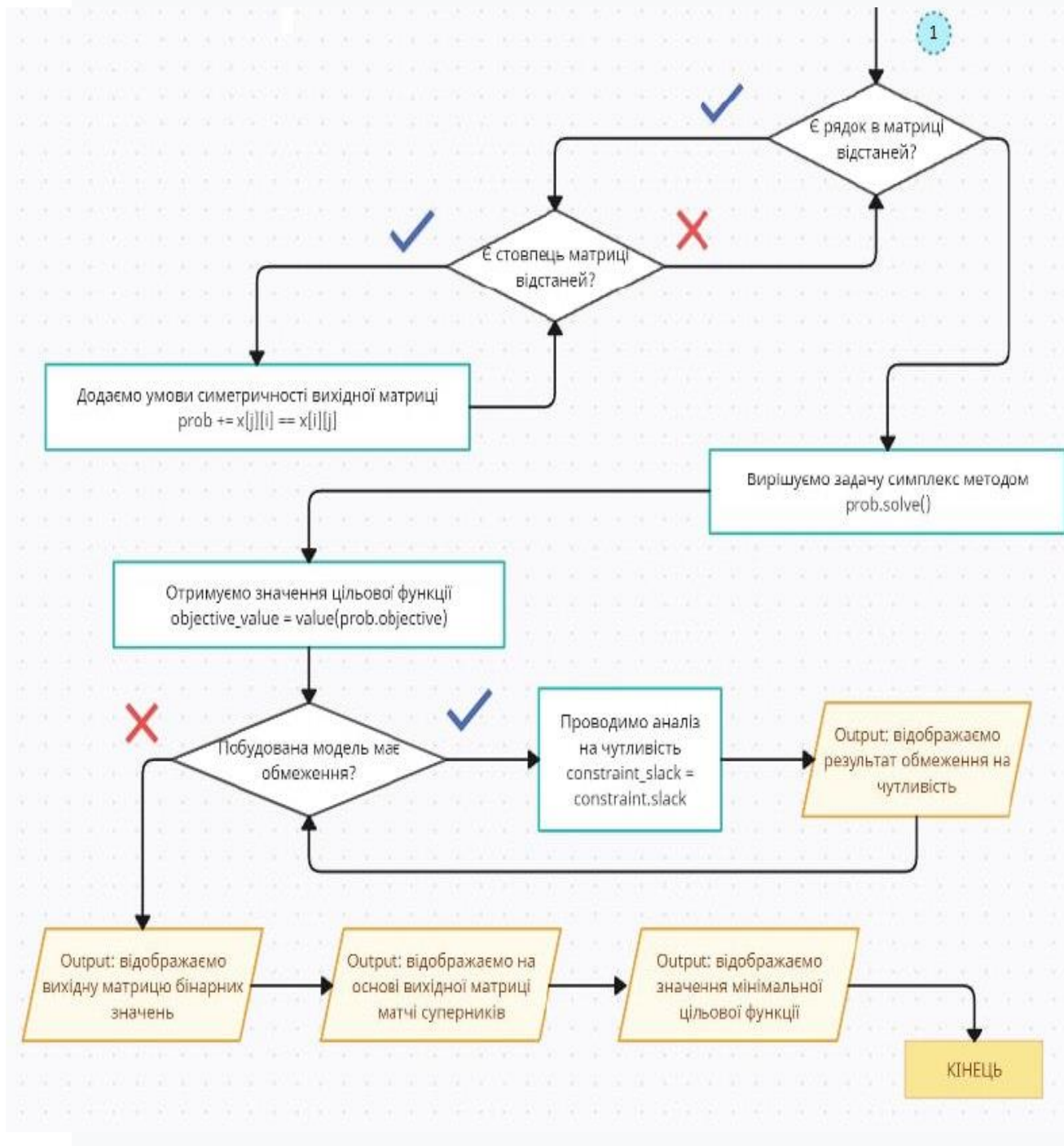


Рис. В.2. Блок-схема для розрахунку параметрів математичної моделі планування розкладу ігор

ДОДАТОК Г

Програмний код для розрахунку параметрів математичної моделі
 планування розкладу ігор футбольних команд

```

import numpy as np
from pulp import LpProblem, LpVariable, lpSum, LpMinimize, value

def readfile(filepath):
    # Відкриваємо файл для читання
    with open(filepath, 'r') as file:
        # Зчитуємо рядки з файлу
        lines = file.readlines()

        # Ініціалізуємо порожній двовимірний масив
        matrix2 = []

        # Обробляємо кожен рядок
        for line in lines:
            # Розділяємо рядок на окремі значення по пробілу
            values = line.strip().split()

            # Перетворюємо значення в числа і додаємо їх у масив
            row = [int(value) for value in values]
            matrix2.append(row)

    return matrix2
# ВХІДНИЙ ФАЙЛ TXT ІЗ МАТРИЦЕЮ ВІДСТАНЕЙ
path = 'C:/Users/Alorance/Desktop/2.txt'
# шлях має показувати повне розташування файлу і перераховуватися через /
# Квадратна матриця відстаней
matrix = np.array(readfile(path))

# Розмір матриці
n = matrix.shape[0]

```

Створення задачі лінійного програмування

```
prob = LpProblem("Matrix Optimization", LpMinimize)
```

Створення змінних розв'язку

```
x = [[LpVariable(f"x{i}_{j}", cat="Binary") for j in range(n)] for i in range(n)]
```

Створення цільової функції

```
prob += lpSum(matrix[i, j] * x[i][j] for i in range(n) for j in range(n))
```

Додавання обмежень для суми значень у рядках

```
for i in range(n):
```

```
    prob += lpSum(x[i][j] for j in range(n)) == 1
```

Додавання обмежень для суми значень у стовпцях

```
for j in range(n):
```

```
    prob += lpSum(x[i][j] for i in range(n)) == 1
```

Додавання обмежень для значень на головній діагоналі

```
for i in range(n):
```

```
    prob += x[i][i] == 0
```

Встановлення змінних $x[j][i]$ рівними значенням змінних $x[i][j]$

```
for i in range(n):
```

```
    for j in range(i+1, n):
```

```
        prob += x[j][i] == x[i][j]
```

Розв'язання задачі лінійного програмування

```
prob.solve()
```

Отримання значення цільової функції

```
objective_value = value(prob.objective)
```

Отримання рішення у вигляді матриці

```
solution = np.zeros((n, n))
```

```
for i in range(n):
```

```
    for j in range(n):
```

```
solution[i, j] = value(x[i][j])

for constraint in prob.constraints.values():
    constraint_slack = constraint.slack
    print(f"Обмеження: {constraint}, Slack: {constraint_slack}")

# Виведення результату
print(\nРезультуюча матриця:')
print(solution)
# Виведення відповідно до результуючої матриці
print(\nМатчі:')
for i in range(len(solution)):
    for j in range(i, len(solution)):
        if solution[i][j] == 1:
            print(f'x{i+1} VS x{j+1}')

print(f\nЦільова функція дорівнює {objective_value} км.)
```