Шифр: ВІТРИЛА

РОЗВИТОК АВТОМАТИЗОВАНОГО СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ БЕЗСТУПЕНЕВИХ ТРАНСМІСІЙ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

(КОНКУРСНА РОБОТА)

Харків - 2020

ЗМІСТ

	ВСТУП	3
1.	ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ СТРУКТУРНОМУ СИНТЕЗІ БЕЗСТУПЕНЕВИХ ТРАНСМІСІЙ	4
2.	БІНАРНЕ КОДУВАННЯ, ЯК СПОСІБ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ БЕЗСТУПЕНЕВИХ ТРАНСМІСІЙ	12
3.	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ	15
	ВИСНОВКИ	24
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	25

ВСТУП

На сьогоднішній день гібридні електромеханічні автомобільні трансмісії стають все більш поширеними, оскільки поєднують в собі переваги безступінчастого регулювання швидкості та високу надійність складових елементів. Саме тому за умов все більшого розповсюдження пасажирського автотранспорту з ГСУ та різноманітті існуючих конструкцій, виникає потреба в створенні універсальної методики для дослідження подібних трансмісій на різних режимах роботи.

Дослідження характеристик колісних та гусеничних самохідних машин шляхом застосування матричного аналізу системи «двигун-трансмісія» є перспективним напрямком і має ряд переваг, оскільки трансмісія представляється структурною схемою в вигляді взаємопов'язаних базових елементів, при цьому кожному типу елементів відповідає своя базисна матриця, що забезпечує високу наочність отриманої математичної моделі.

В роботі планується розвинути існуючу методику трансмісійного матричного аналізу на автомобільні гібридні трансмісії, спираючись на основні принципи матричного аналізу ступінчатих механічних трансмісій (СМТ) та гідро-об'ємних механічних трансмісій (ГОМТ).

Практична цінність роботи полягає в можливості практичного використання розробленої методики на стадії дослідження існуючих трансмісій з ГСУ та при проектуванні нових, з достатнім рівнем достовірності результатів.

Методика матричного аналізу передбачає складання та вирішення підсумкових кінематичних та силових матриць, розмір яких залежить від кількості складових елементів трансмісії, а при дослідженні достатньо складних схем це створює певні незручності . Саме тому в даній роботі планується розробка програмного продукту на язику об'єктно-орієнтованого програмування Delphi7, що дозволяє складати довільні структурні схеми СМТ то ГОМТ, в той час як результуючі кінематичні та силові матриці формуються автоматично згідно вихідних даних та структурної схеми.

1 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ СТРУКТУРНОМУ СИНТЕЗІ БЕЗСТУПЕНЕВИХ ТРАНСМІСІЙ

Питання структурного та параметричного синтезу гідрооб'ємно-механічних трансмісій не втрачає своєї актуальності, адже й понині конструктори та інженери в процесі створення нових зразків не мають можливості проаналізувати всю множину варіантів схем побудови трансмісій в силу складності подібної задачі. Саме тому виникає потреба в розробці автоматизованих методів структурного та параметричного синтезу ГОМТ, які б знизили питому вагу інтуїції та власного досвіду конструктора, як суб'єктивних характеристик, в процесі вибору кінематичної схеми трансмісії та її параметрів. Задача інженера в такому випадку буде зводитись до завдання бажаних характеристик транспортного засобу, та певних вихідних даних, наприклад, характеристик гідромашин. Наявність у конструкторів описаного інструменту, має суттєво знизити витрати часу на обґрунтування трансмісії і, як наслідок, скоротиться період з моменту видачі технічного завдання до процесу виробництва. Теорія графів дозволяє на практиці реалізувати автоматизований структурний синтез трансмісій, іншими словами, перейти від коду трансмісії до її структурної, а в подальшому, і кінематичної схеми.

Звертаючи увагу на роботи присвячені теорії графів можна зробити висновок, що цей розділ дискретної математики знаходить широке застосування в галузі хімії, електротехніці, лінгвістиці, соціології, транспортній логістиці [1]. Проте перелік робіт, в яких була хоча би здійснена спроба перекласти методи теорії графів на автотракторні трансмісії дуже обмежений, а стосовно гідрооб'ємно-механічних трансмісій, таких робіт взагалі немає.

В роботах іноземних авторів теорія графів знаходить застосування при синтезі механічної частини гідродинамічних автомобільних трансмісії [2] і має свої особливості.

Однак відомі фундаментальні роботи [2] присвячені синтезу планетарних коробок передач, в яких результатом позиціонується "атлас кодів" – список всіх можливих схем планетарних ступінчастих трансмісій з заданим ступенем свободи з заданого переліку елементів. Проте, описані в них алгоритми перевірки графів складних планетарних механізмів можливо адаптувати під графи ГОМТ з певним доопрацюванням.

Розвиток та вдосконалення розрахунково-графічних методик по структурному та параметричному синтезу двопоточних безступінчастих ГОМТ в цілому дозволить ще на етапі проектування отримати комплексну оцінку даної складної технічної системи, оптимізувати конструктивні параметри трансмісії з метою підвищення її кінематичних, силових та енергетичних характеристик. Застосування теорії графів дозволить впритул наблизитися до вирішення цієї проблеми.

Відповідно до роботи [2] можна виділити три основні етапи синтезу зубчастих механізмів:

1) перерахування і побудова схем механізмів;

2) визначення основних параметрів (швидкостей обертання ланок, моментів, потужності);

3) розміщення механізму в просторі.

Перший етап зазвичай реалізовується за допомогою математичних комбінаторних прийомів, другий – з застосуванням матричних методів, третій – з використанням графів.

Будь-яку трансмісію, в тому числі гідрооб’ємно-механічну, можна представити в вигляді графу, вершини якого будуть уособлювати певну ланку трансмісії, а зв’язки між ланками будуть характеризуватися ребрами графу, описувати такий граф зручно в кодовій формі.

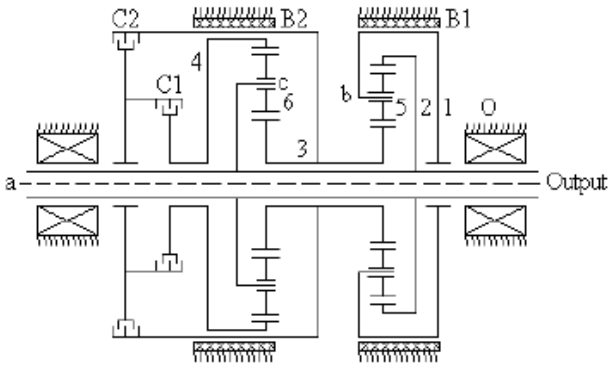
Проте, перш ніж перейти до описання нашого бачення побудови графів ГОМТ, доцільно буде звернути увагу на роботи [1]. Однак їх суттєвим недоліком є те, що з них не можна визначити послідовність дій авторів, вони

пропонують читачу лише початкові данні та кінцевий результат – граф трансмісії.

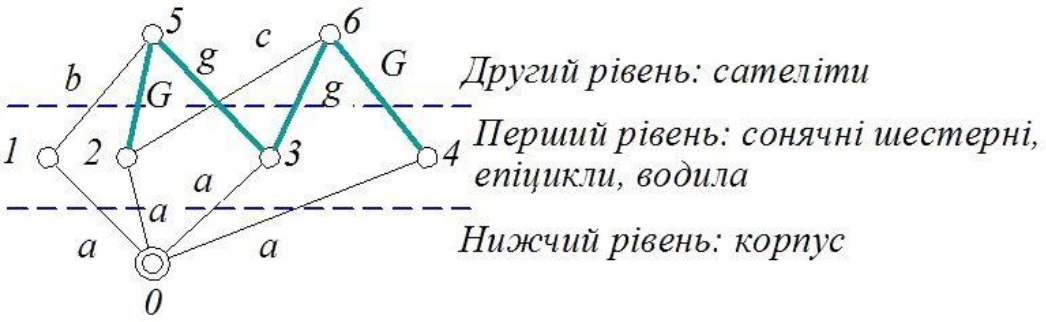
На рис. 1.1 а, б показано типову кінематичну схему побудови механічної частини гідродинамічної трансмісії та її граф відповідно.

Особливістю даного графу є те, що він враховує не тільки зв'язки між елементами, але й їх типи, наприклад, зв'язок через пару обертання (вал трансмісії з'єднується з корпусом через підшипник чи сателіт планетарного механізму – з водилом) чи через зубчасте зачеплення.

Наступною особливістю є введення додаткової вершини "0", що позначає корпус коробки передач, та розбиття графу на рівні (див. рис. 5.1 б). Нижчим або нульовим рівнем виступає корпус, першим рівнем графу є сонячні шестерні, водила та епіцикли, третій рівень – сателіти.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Механічна частина автоматичної коробки передач:

а) кінематична схема трансмісії; б) граф трансмісії.

Тонкими лініями показані з’єднання через пари обертання, жирними лініями – через пари зачеплення, в роботі [3] також пропонується розрізняти типи зв’язків, для чого використовується "метод фарб".

Вирішення задачі структурного синтезу планується проводити в декілька етапів, на першому етапі буде реалізовано наступний алгоритм:

1) побудова з обраної кількості структурних елементів множини кодів – можливих варіантів трансмісії;

2) перехід до матриць суміжності та інцидентності, з метою перевірки на планарність та ізоморфність;

3) представлення матриць в формі графу.

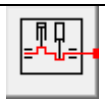
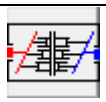
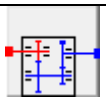
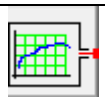
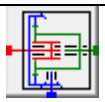
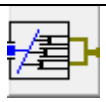
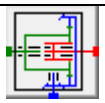
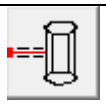
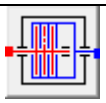
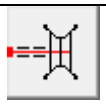
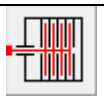
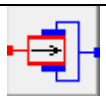
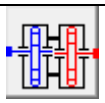
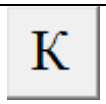
Навідмінно від планетарних коробок передач до складу гідрооб’ємно-механічної трансмісії може входити більший перелік елементів, що ставить необхідність визначитися зі способом умовного позначення елементів. В табл. 1.1 приведено перелік структурних елементів трансмісії з програми Trans2000 та наведені їх індивідуальні коди.

Проте даний спосіб кодування в подальшому може бути змінений, зокрема розглядається варіант "подвійного числового кодування" коли перша цифра коду нам буде вказувати на клас елемента, а друга на його порядковий номер серед елементів даного класу. Адже варто чітко усвідомлювати, що "код трансмісії", як числова комбінація, сприймається лише людиною, алгоритм же автоматичної обробки буде працювати з вищезгаданими матрицями, які несуть в собі всю необхідну інформацію про елементи та зв’язки між ними.

Далі наведемо деякі особливості елементів з табл. 1.1, які будуть враховуватися при накладенні обмежень на алгоритм формування множини трансмісій та їх обробку.

Двигун внутрішнього згорання є початковим елементом, тому код "1" не може бути розміщений між двома іншими кодами.

Таблиця 1.1 – Коди структурних елементів ГОМТ

Назва елементу	Піктограма	Код	Назва елементу	Піктограма	Код
Двигун		"1"	Аксіальна ГОП		"8"
Редуктор		"2"	Вал відбору потужності		"9"
Диференціал 1		"3"	Гідромашина (окрема)		"a"
Диференціал 2		"4"	Колесо		"b"
Фрикціон		"5"	Зірочка		"c"
Гальмо		"6"	Обгінна муфта		"d"
Радіальна ГОП		"7"	Корпус		"0"

Диференціал типу 1 з кодом "3" представляє триланковий планетарний механізм, відмінність його в порівнянні з диференціалом типу 2 (код "4") полягає в різному розміщенні цих редукторів відносно інших елементів трансмісій. Для перевірки пересічення зв’язків планетарного механізму достатньо мати його код, як єдиного механізму. Зовнішні зв’язки важливі і враховуються ребрами графу.

Фрикціон типу "5" з’єднує та розриває потік потужності і, як наслідок, суміжні з ним елементи трансмісії, встановлюючи нові зв’язки в графі трансмісії.

Детальний аналіз подібних особливостей елементів буде наведено в подальших роботах безпосередньо з алгоритмами обробки.

На рис 1.2 представлена структурна схема двопоточної ГОМТ та її кодування. Малі цифри зліва – це порядкові індекси (довільна нумерація),

великі цифри і букви праворуч – позначення типу елементів згідно табл. 1.1

Код даного механізму: 12 - 23 - 36 - 35 - 34 - 69 - 58 - 47 - 9a - 8a, де «а» – це двозначний код (10) ланки ГОМПа і зв'язку (8а). Загальна кількість елементів трансмісії обмежена числом цифр від 0 до 9 і малих 26 літер латинського алфавіту. При необхідності опису кількості елементів більше 36, слід вводити додатково великі літери алфавіту або двозначні коди. За кодом будуємо граф (див. рис. 1.3) з ребрами: (1,2), (2,3), (3,6), (3,5), (3,4), (6,9), (5,8), (4,7), (9, а), (8, а) відкидаючи одне з ребер з взаємно однаковими вершинами.

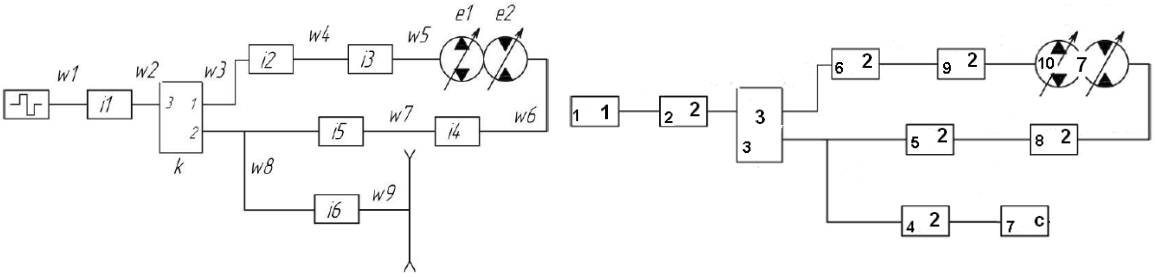


Рисунок 1.2 – ГОМТ с диференціалом на вході:
а – кодування елементів; б –структурна схема; в – граф трансмісії

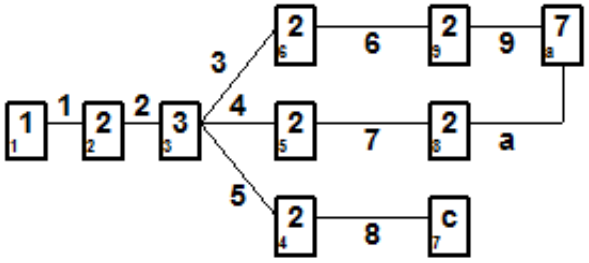


Рисунок 1.3 – Граф трансмісії

Даний граф є планарним оскільки його ребра не перетинаються крім вершин їм інцидентних. Має одну грань (замкнута область). Вершини даного графа мають не одну і ту ж ступінь (вершина 3 має чотири ребра). Граф не є зв'язним. Матриця суміжностей 10×10 графа, приведена на рис. 1.4, де рядки і стовпці – це номери елементів, симетрична відносно діагоналі з нульовими значеннями, тому з'єднання елементів самих на себе відсутні

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

Рисунок 1.4 – Матриця суміжності графа

Під нульовою діагоналлю матриці міститься код суміжних елементів, які знаходяться зліва по ходу потоку потужності, а вище діагоналі – справа в кожній парі зв'язків. У даному випадку, з'єднання елементів з однаковими кодами (декількох пар редукторів), дає однакові елементи в обох половинах матриці. Надалі по такій матриці може бути побудована система кінематичних рівнянь, так як елементи в ній вже не знеособлені, а їх внутрішні властивості (передавальні числа і т.п.) можуть бути задані згідно до відповідного коду.

Матриця інцидентності 10×10 рис. 1.5 де рядки – це номери ребер в порядку їх перерахування: 1 – (1,2), 2 – (2,3), 3 – (3,6), 4 – (3,5) , 5 – (3,4), 6 – (6,9), 7 – (5,8), 8 – (4,7), 9 – (9, a), a – (8, a), a стовпці – індекси елементів у вузлах графа. Матриця інціденцій, як і матриця суміжностей, може бути записана в кодах елементів.

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

а)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0
4	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0
5	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0
7	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0
8	0	0	0	2	0	0	c	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
a	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7

б)

Рисунок 1.5 – Матриця інцидентнцій:
а – в загальній формі; б – в кодовій формі

Перевагою даного методу є висока наочність кодів трансмісій, адже вони чітко демонструють зв’язки накладені на кожну ланку, а сам метод підлягає програмуванню.

2 БІНАРНЕ КОДУВАННЯ, ЯК СПОСІБ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ БЕЗСТУПЕНЕВИХ ТРАНСМІСІЙ

Вирішуючи задачу автоматичного структурного, а в подальшому, і параметричного синтезу двопоточних гідрооб'ємно-механічних трансмісій головною проблемою є візуалізація отриманих результатів. Це означає, що код трансмісії в формі коли певна цифра відповідає за конкретний клас елементів, зручний для сприйняття людиною, але запрограмувати його досить складно, до того ж обмеження, цикли перевірки та перебору будуть неповними. За таких обставин матриця суміжності, як спосіб представлення графа трансмісії в матричному вигляді буде давати нам всю необхідну інформацію про зв'язки між функціональними елементами. На рис. 2.1 зображено матрицю суміжності трансмісії з 6 елементів. Даний тип матриць заповнюється симетрично відносно головної нульової діагоналі. Як можна побачити, тип елементів поки не враховується, іде лише перебір всіх можливих зв'язків для N елементів.

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	1	0	1
2	0	0	1	0	1	0
3	0	1	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	0	0	1
6	1	0	0	1	1	0

Рисунок 2.1 – Матрицю суміжності трансмісії

Довжина бінарного коду буде визначатися як $L=\left(n\cdot n-n\right)/2$, де L – кількість цифр бінарного коду, n – кількість строк (стовбців) матриці. Так, наприклад, для трансмісії з п'яти елементів отримаємо код довжиною

$(6 \cdot 6 - 6)/2 = 15$ цифр, тобто можливе число поєднань буде 2^{15}. Далі нам потрібно буде відсіяти формально некоректні коди. З рис. 2.1, наприклад, можна прочитати бінарний код трансмісії 001100010010011. Надалі для всіх формально коректних бінарних кодів виконуються підстановка порядкових номерів всіх обраних елементів зі списку елементів – це задача перестановки N елементів K типів по своїх позиціях. Для 6 елементів це буде $6! = 720$ підстановок.

Повний двоїчний перебір гарантує весь набір перестановок наших елементів по місцям установки. Подібний алгоритм дозволяє використовувати для програмування стандартні компоненти, що значною мірою спрощує задачу, не втрачаючи при цьому, вищезгаданої наочності отриманих результатів (рис. 2.2).

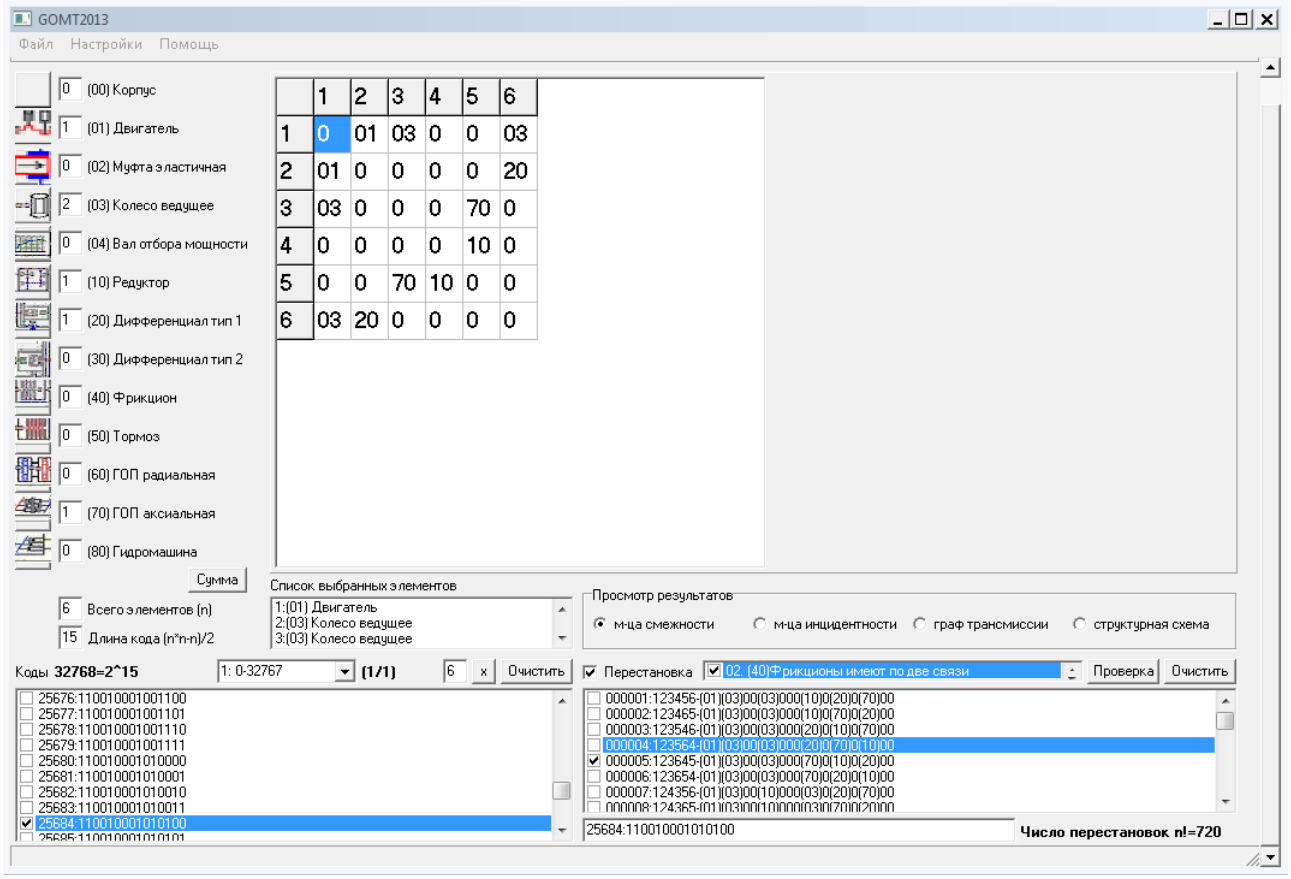


Рисунок 2.2 – Інтерфейс програми GOMT-2016

В розділі виконано детальне обґрунтування переваг застосування теорії графів в процесі структурного синтезу безступінчастих гідрооб’ємно-механічних автотракторних трансмісій. Окреслені подальші напрямки розвитку даного методу, спираючись на відомі нині роботи вітчизняних і зарубіжних авторів. Описано принцип кодування структурних елементів ГОМТ для подальшого програмного вирішення задачі та розроблено програмний продукт на язику об'єктно-орієнтованого програмування Delphi 7.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

Будь-яка методика математичного моделювання, в тому числі і трансмісійний матричний аналіз, буде високоефективною та затребуваною лише за умови, що вирішення моделі можливо на ЕОМ за допомогою існуючих програмних продуктів, або коли алгоритм матмоделі піддається програмуванню. Кінематичний, силовий та повний матричний шаблони в трансмісійному матричному аналізі формується згідно до кількості і типів складових елементів та характеру взаємозв'язків між ними. Вирішення подібних матриць можливо в програмі MathCad, проте при цьому матриці коефіцієнтів, вільних членів та невідомих повинні бути заповнені вручну. Така форма роботи вимагає значних затрат часу на заповнення матриць і складання структурної схеми, що знижує продуктивність, проте при цьому буде працювати зорова пам'ять, що дуже важливо на стадії навчання для студентів.

Саме тому розроблений програмний продукт на язику об'єктно-орієнтованого програмування Delphi 7, пропонує компромісний варіант – структурна схема трансмісії складається вручну користувачем на спеціальному полі, а матричні шаблони формує, заповнює та вирішує програма згідно до схеми та початкових даних. Такий алгоритм роботи, як і раніше, потребуватиме від користувача глибокого розуміння характеру зв'язків між елементами, проте звільнить від кропіткої роботи з заповнення матричного шаблону. До того ж програма має функцію збереження результатів, що зручно при проведені порівняльного аналізу.

Програма дозволяє складати математичні моделі для структурних схем СМТ та ГОМТ довільної форми. На рис. 3.1 зображено інтерфейс головного вікна програми

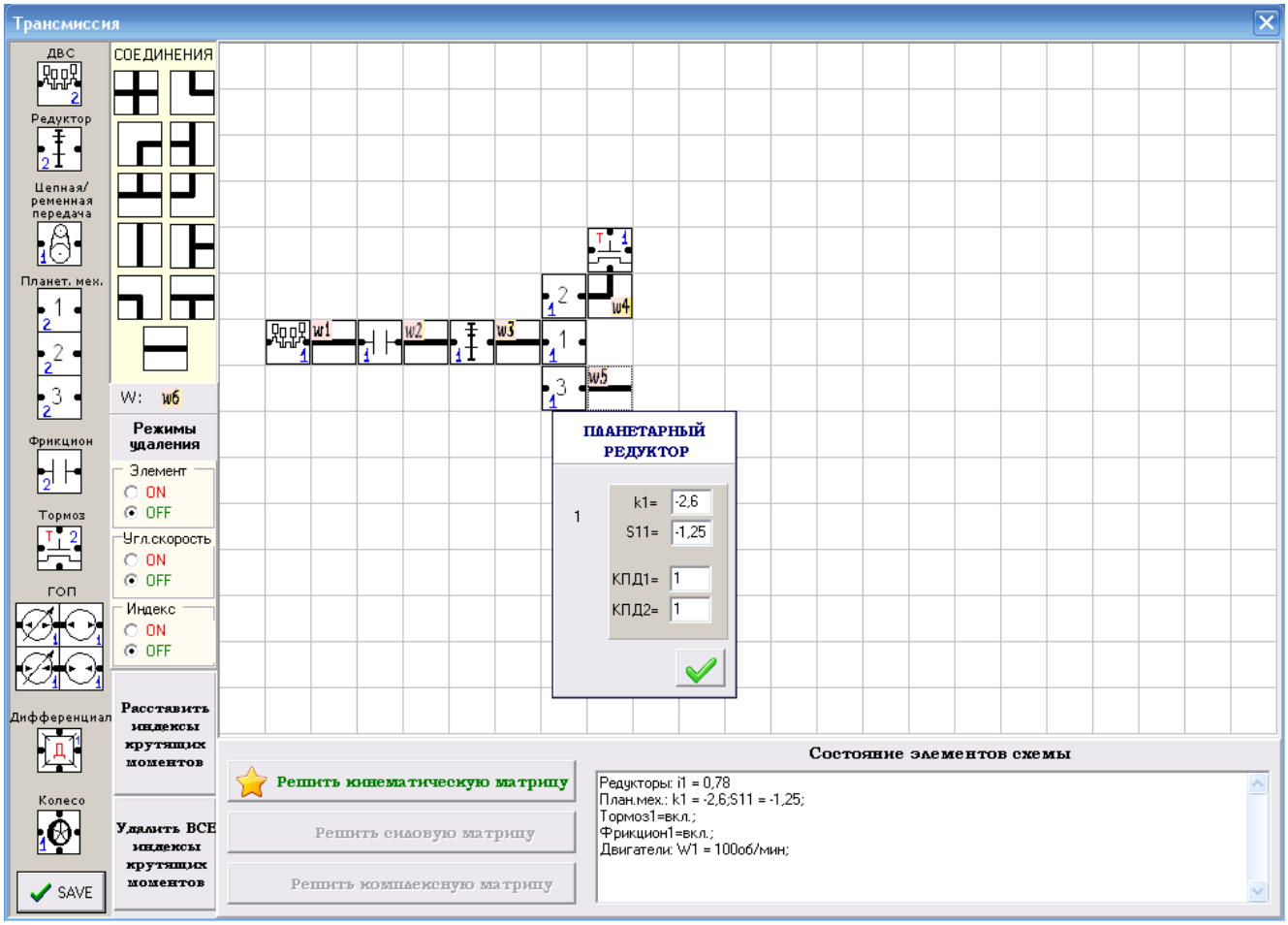


Рисунок 3.1 – Інтерфейс головного вікна програми

В основу програми покладено «принцип мозаїки», тобто поле, що є нічим іншим як матрицею розміром 23x14 послідовно заповнюється структурними та з'єднувальними елементами, які поміщаються у відповідні клітинки. Варто відмітити, що далеко не завжди, схема, що аналізується зможе розміститися в довжину на 23 клітинки (передбачається, що схема будується «з ліва на право»), тому цей факт компенсовано в алгоритмі обробки і коли поле закінчується, потрібно зробити «поворот» зі «з'єднань» і продовжувати будувати схему «з права на ліво».

Елемент «планетарний механізм» єдиний складається з трьох блоків: 1 – сонце, 2 – епіцикл, 3 – водило, розміщуються вони в довільній комбінації, завжди в одному стовбці і без інтервалів (як зображено на рис 5.1).

В табл. 3.1 наведена послідовність дій користувача при роботі з програмою.

Таблиця 3.1 – Рекомендована послідовність дій

№ п/п	Зміст дій	Примітка
1	2	3
1.	Помістити складовий елемент трансмісії на поле	Кліком лівою кнопкою мишки по елементу в Меню, а далі кліком лівою кнопкою у потрібному місці Поля
2.	Задати характеристики елемента	По кліку правою кнопкою мишки
3.	Додати з'єднувальний елемент	
(пункти 1 – 3 повторюються згідно до кількості елементів в схемі)		
4.	Розставити зображення кутових швидкостей	Для коректної роботи всіх процедур і функцій позначення кутової швидкості має ставитись на першому з'єднувальному елементі після структурного елементу
Вирішення кінематичної матриці		
5.1	Натиснути кнопку «Решить кинематическую матрицу»	Якщо схема складена повно і вірно програма відкриє вікно «Расчет кинематической матрицы», в противному випадку видасться вікно «Схема заторможена либо не имеет решения»
5.2	Натиснути кнопку «Решить матрицу»	Якщо були заповнені всі необхідні поля характеристик елементів, а форма запису не суперечить алгоритму матриця буде вирішена, а результат розрахунку з'явиться у відповідному полі
5.3	Включити «Режим подсветки/ Буквенный режим»	Дана програма дозволяє заповнювати матричний шаблон не тільки в числовій, але й в буквенній формі. Режим підсвітки допомогає ідентифікувати строки структурних елементів.

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3
Вирішення силової матриці		
6.1	Натиснути кнопку «Расставить индексы крутящих моментов»	Ця дія умисно виконується автоматично оскільки в порівнянні з розстановкою кутових швидкостей вона б вимагала мінімум вдвічі більше дій.
6.2	Натиснути «Решить силовую матрицу»	
6.3	Обрати режим «Без учета потерь» або «С учетом потерь»	Цей вибір грає роль при дослідженні ГОМТ, для СМТ ж будуть враховані ККД передач
6.4	Натиснути «Решить матрицу»	Ці дії аналогічні кінематиці
6.5	Включити «Режим подсветки/ Буквенный режим»	
Вирішення комплексної (повної) матриці		
7	Натиснути «Решить комплексную матрицу»	Кінематичні та силові складові є незалежними величинами тому за необхідності можливо вирішувати кінематичну та силову матриці одночасно на одному полі.

В програмі можна оперувати 25 різними елементами, 11 з яких – з'єднувальні. Варто сказати, що кількість в меню кожного з елементів чітко визначена (наприклад, «фрикціонів» 10, «редукторів» 18 і т.п.). Ця кількість визначалась з аналізу компоновочних схем різних автотракторних трансмісій, проте при необхідності може бути легко розширена. Кожний елемент при цьому розглядається як окремий «тип», в програмі за це відповідає змінна t . В таблиці 3.2 показано зв'язок між зображенням елементу і йото типом

Таблиця 3.2 – Типи елементів

Назва елементу	Тип в програмі, t	Зображення	Назва елементу	Тип в програмі, t	Зображення
ДВЗ	0		Ланцюгова передача	9	
Редуктор	2		З'єднання 1	10	
ТПМ сонце	31		З'єднання 2	11	
ТПМ епіцикл	32		З'єднання 3	12	
ТПМ водило	33		З'єднання 4	13	
Фрикціон	4		З'єднання 5	14	
Гальмівний елемент	5		З'єднання 6	15	
ГОП насос регульований	61		З'єднання 7	16	
ГОП насос нерегульований	62		З'єднання 8	17	
ГОП мотор регульований	61(2,3)		З'єднання 9	18	
ГОП мотор нерегульований	62(2,3)		З'єднання 10	19	
Диференціал	7		З'єднання 11	20	
Колесо	8				

Алгоритм, за яким аналізується побудована в програмі структурна схема, і як наслідок формується матричний шаблон в спрощеному варіанті наведено на рис. 3.2

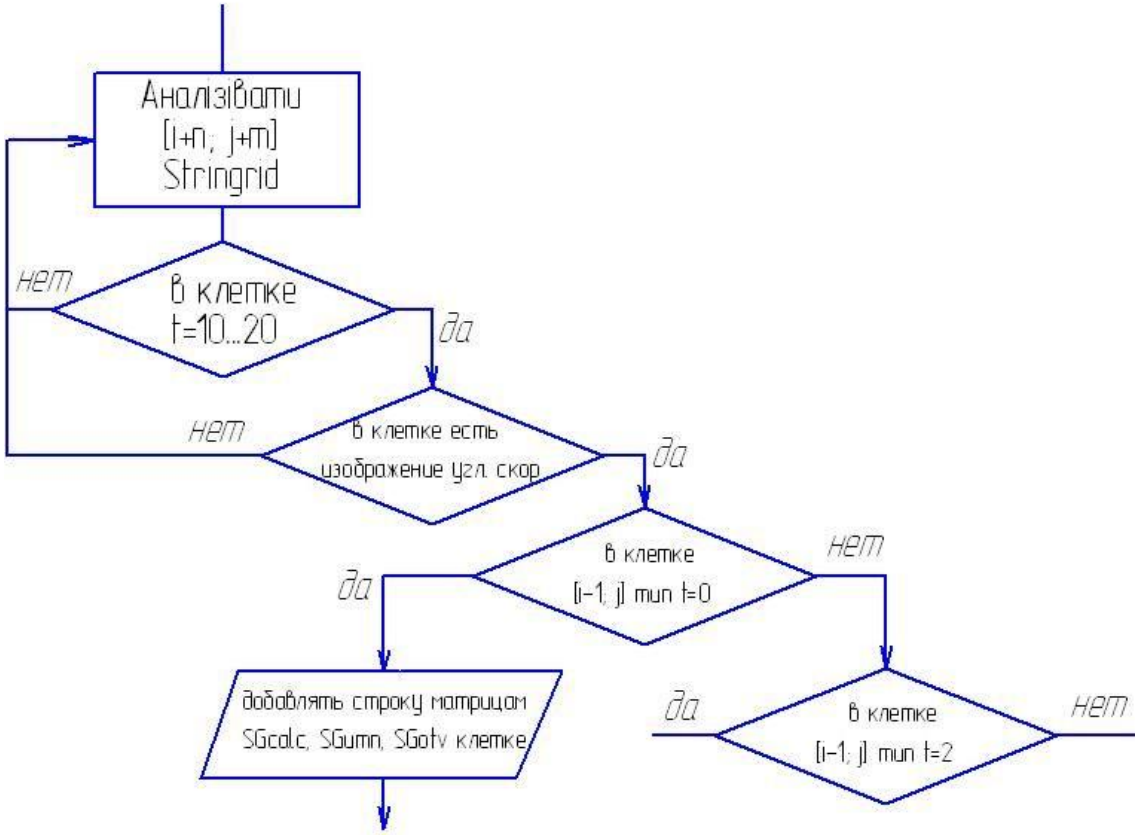


Рисунок 3.2 – Фрагмент алгоритму аналізу структурної схеми трансмісії

Якщо програма оперує складними умовами доцільно оформлювати процес аналізу в якості окремих процедур та функцій. Це спрощує отладку програми і дозволяє швидко виявляти помилки алгоритму.

В даній програмі окремо винесені наступні процедури:

1. процедури постановки і видалення елементів;

2. процедури для групування окремих з’єднань у гілки;

3. процедури для визначення відповід. кут. швидкості для елемента схеми;

4. процедури для визначення складу ГОП;

5. процедури для розстановки індексів крутяться моментів;

6. процедури для визначення відповід. індексу для елемента схеми;

7. процедура для формування списку характеристик елементів схеми;

8. процедура первісної обробки.

Проте робота програми починається з постановки елементу на екран, та видаленні його з екрану за необхідністю. На рис. 3.3 приведено фрагмент тексту програми де описана постановка в поле StringGrid редуктора

```
//   Постановка изображений редуктора
if (curRED>0)and(curtype=2)then
begin
  ImREDArray [curRED].Visible:=false;
  matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].ImRED:=ImREDArray[curRED ];
  matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].tnum:=curRED;
  matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].EdREDI:=EdREDIArray[curRED];
  matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].EdREDN:=EdREDNArray[curRED];
end;
-----------------------------------------------------
  // Удаление изображения редуктора
 if (matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].ImRED<>nil)  then
 begin
     matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].ImRED.Visible:=true;
     matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].ImRED := nil;
     matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].w1:=-1;
     matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].w2:=-1;
     EdREDNArray[matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].tnum].Text:='1';
     EdREDIArray[matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].tnum].Text:='';
     matrixPic[gridCoord.X,gridCoord.Y].tnum:=-1;
  end;
```

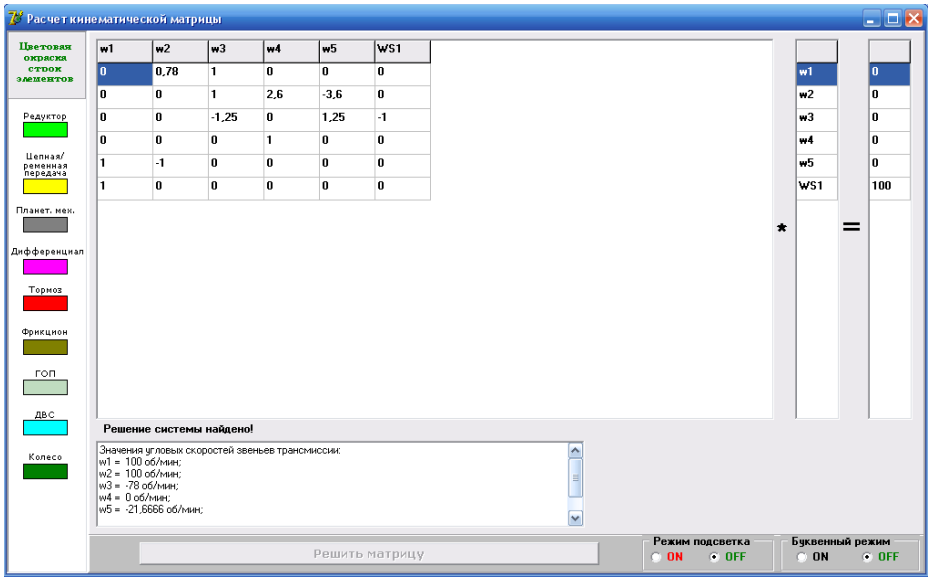
Рисунок 3.3 – Алгоритм постановки та видалення зображення редуктора з поля

Після складання схеми та заповнення випадаючих меню необхідними початковими даними, користувач натискаю кнопку «Расчитать кинематическую матрицу», до цієї кнопки прив’язані процедури формування матричного шаблону. Для редукторів процедура формування розрахункової матриці наведена на рис. 3.4

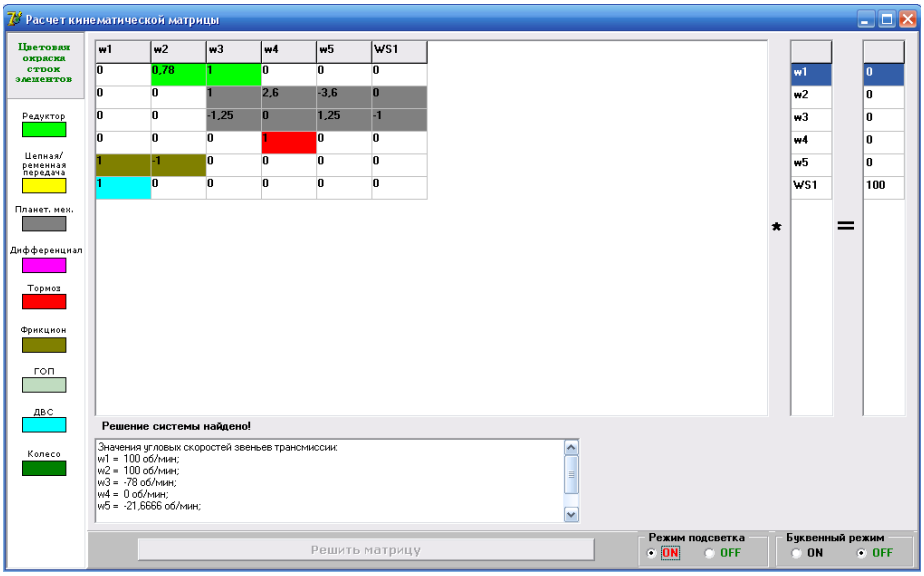
```
// процедура формирования расчетной матрицы для редуктора
procedure TF_kinematika.myRED(var k2: integer);
var k,i,j: integer;
  begin for k := 1 to 24 do
    begin for i:=0 to 22 do
      for j:=0 to 14 do
        begin
          if (k2 < kolRED) then
        begin
if (F_main.matrixPic[i,j].ImRED<>nil) and (F_main.ImREDArray[k].Visible=false) and
          (F_main.matrixPic[i,j].ImRED.Name=F_main.ImREDArray[k].Name) then
            begin
              k2 := k2 + 1;
              // вход  (i)
                if f1 = 1 then
SGcalc.Cells[place_w(F_main.matrixPic[i,j].w1),place_element(2,k2)] :=
F_main.matrixPic[i,j].EdREDI.Text
                  else if f2 = 1 then
SGcalc.Cells[place_w(F_main.matrixPic[i,j].w1),place_element(2,k2)] := 'i' + IntToStr(k);
              // выход  (1)
 SGcalc.Cells[place_w(F_main.matrixPic[i,j].w2),place_element(2,k2)] := '1';
              // заполнение множества столбцов
                if f1 = 1 then
                  begin
                    col_RED_w1[k] := place_w(F_main.matrixPic[i,j].w1);
                    col_RED_w2[k] := place_w(F_main.matrixPic[i,j].w2);
                    row_RED[k] := place_element(2,k2);
                    n_RED[k2]  := k;
                  end; end;  end
       else exit;
      end;  end; end;
```

Рисунок 3.4 – Процедура формування розрахункової матриці редуктора (для кінематики)

Для структурної схеми, що наведена на рис. 3.1 вирішена кінематична матриця (а) та матриця з режимом підсвітки (б) матиме вигляд, як на рис. 3.5



а)



б)

Рисунок 3.5 – Заповнена кінематична матриця

Дана програма має великий потенціал для подальшого вдосконалення та розширення переліку функцій, зокрема ведеться робота над відкриттям в вікні програми збережених раніше файлів.

ВИСНОВКИ

В науковій роботі запропонований розвиток існуючої методики трансмісійного матричного аналізу СМТ та ГОМТ, з можливістю аналізу техніко-економічних показників гібридних електромеханічних трансмісій.

Розроблено програмний продукт для вирішення задач матричного аналізу що дозволяє складати довільні структурні схеми трансмісій, аналізувати їх на працездатність, а також визначати ККД трансмісії та основні робочі характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самородов В.Б. Системный подход к генерации математических матричных моделей для планетарных механических и гидрообъемно-механических трансмиссий произвольного вида // Вестник ХГПУ.– 1999.– Вып. 46.– С.51-54.

2. Мітцель М.О. Розвиток трансмісійного матричного аналізу в області автомобілебудування / М. О. Мітцель, В. Б. Самородов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Транспортне машинобудування : збірник наукових праць / Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2012. – № 19. – С. 42-46.

3. Касаткин А.С. , Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа, 2002. – 528 с.