



**Университет „Проф. д-р Асен Златаров”**

---

**Обобщените мрежи като инструмент за моделиране на железопътния транспорт в България**

**Тончо Иванов Боюков**

## **АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен „доктор” по научна специалност „Компютърни системи и технологии”,  
Област на висшето образование 5. Технически науки, Професионално направление 5.3. Комуникационна и компютърна техника

### **Научни ръководители**

чл.кор. дмн дтн Красимир Годоров Атанасов

проф. д-р Сотир Сотиров

Бургас, 2023г.

Настоящият дисертационен труд съдържа използвани съкращения, въведение, шест глави, изводи, и цитирана литература. Общият му обем е 127 страници. Включени са 21 фигури, и 1таблица. Цитираната литература обхваща 44 заглавия, от които 33 на кирилица и 11 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден на 25.05.2023 г. на заседание на катедрен съвет на катедра „Компютърни системи и технологии” към Факултет по технически науки при Университет „Професор д-р Асен Златаров“ Бургас

## Обща характеристика на дисертационния труд

### 1. Актуалност на проблема

**Железопътните линии** са една от най-важните части на транспортните системи и постоянно се подобряват, което с оглед на безопасността, ги прави много атрактивен вариант в сравнение с други видове транспорт.

В резултат на това общата сложност на железопътните системи се увеличава и следователно се предивяват по-големи изисквания поставени върху логиката на управление на тези системи.

Да разгледаме за пример, ситуацията с Европейския съюз. Тъй като ЕС се отваря към окръзите на Източна Европа, той също прави значителни инвестиции за съживяване на железниците и планове за постигане на следните цели;

- железопътният транспорт да увеличи пазарния си дял от пътникопотока от 6% на 10% и от товарния трафик от 8% до 15%;
- утрояване на производителността на работната сила в железниците;
- 50% печалба в енергийната ефективност;
- 50% намаление на емисиите на замърсители;
- увеличаване на инфраструктурния капацитет, съизмерим с целите на трафика.

Спецификацията, анализът и прилагането на логиката на железопътния контрол е важна дейност, тъй като неговият отказ може да доведе до железопътни произшествия и загуба на човешки живот. В момента тази дейност е много-важна, тъй като железопътните мрежи често са големи, скоростта на влаковете и плътността на движението постоянно се увеличават, а дейностите в рамките на мрежите се извършват едновременно и на различни географски местоположения.

Трябва да имаме предвид, че управлението на железопътната мрежа може да бъде разделено на две части: логическо управление и изпълнение на контрол. Първият се занимава със структурни проблеми и налага задоволяването на поредица изисквания като: безопасност (избягване на сблъсък) и ограничения при движението. Вторият е свързан със работата на мрежата и е загрижен за проблеми като планиране на заминаванията и спиранията, така че да се оптимизира ефективността на мрежата.

В тази дисертационна работа фокусирахме вниманието си върху моделирането на железопътните мрежи с помощта на обобщените мрежи (ОМ), които предоставят мощна

рамка за анализ и контрол на разпределени и едновременни системи. Някои от предимствата на обобщените мрежи като модели за дискретно управление на събития включват: графично представяне, солидни основи които са базирани на математиката, съществуването на симулация и формален анализ, чрез различни техники и съществуването на компютърни инструменти за симулация, анализ и контрол.

Методите за моделиране и анализ на железопътни системи с помощта на обобщените мрежи не са добре проучени поради факта, че анализирането им е доста сложно.

Използването на моделирането и симулирането за решаване на проблемите на количественото описание на процесите, изисква строго разграничаване на задачите.

### **Цел и задачи на дисертационния труд**

**Основната цел** която си поставихме е приложението на теорията на обобщените мрежи за моделиране и мониторинг на процесите в железопътния транспорт. Крайната цел на изследването е да изградим подробен модел на цялата железопътна мрежа на България, като дадем описание на някои стандартни компоненти на железопътната мрежа. Така изграденият ОМ-модел може да се използва за симулация на различни ситуации, които могат да възникват между влаковете в реално време. В резултат на това можем да получим идеи, например за запазване или промяна на графика на конкретни влакове в текущия момент. В настоящото изследване сме описали процеси, протичащи в железопътния транспорт и по конкретно процеси, свързани с управлението и съгласуването на движението на железопътни състави, както и процесите за взимане на решение по отношение на реда и последователността на придвижване на (ЖС) в рамките на железопътната система.

### **Научна новост**

Един от ключовите приноси на дисертационния труд е, въвеждането на дефиниции за четири нови разширения на "Двупосочна обобщена мрежа". За всяко от тези разширения се доказва, че е консервативно разширение на стандартната обобщена мрежа, като са представени четири варианта, които демонстрират алгоритмите за функциониране на мрежата. Това позволява установяването на две теореми, които показват, че "Функционирането и резултатите от работата на всяка Двупосочна обобщена мрежа могат да бъдат представени чрез стандартните Обобщени Мрежи". С помощта на метода на двупосочните обобщени мрежи е създаден модел на железопътна гара Бургас.

Също така съществен принос в рамките на дисертацията е създаването на пълен обобщеномрежов модел на железопътната мрежа на България, който е разделен на Западна, Северна централна, Южна централна и Източна България. Визуализирани са и връзките между отделните части на мрежата. Изготвени са модели, които показват връзките между България и нейните съседни страни, както и връзките между различните видове транспорт в България. Всеки един от моделите е представен и графично.

### **Апробация**

Резултатите от дисертационния труд са обсъждани и докладвани на следните научни прояви:

- 2022 IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems (IS)
- IWIFSGN 2020. International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets. Warsaw. Poland. December 10-11, 2020

### **Публикации**

Получените резултати са представени в 4 публикации от които 2 в сборници с доклади от международни конференции и 2 в България, от които една е подготвена за печат.

### **Структура и обем на дисертационния труд**

Настоящият дисертационен труд съдържа използвани съкращения, въведение, шест глави, изводи, и цитирана литература. Общият му обем е 126 страници. Включени са 17 фигури, и 1 таблица. Цитираната литература обхваща 44 заглавия, от които 33 на кирилица и 11 на латиница.

## Глава първа. Въведение в теорията на обобщените мрежи

В първа глава на настоящата дисертация е представена общата теория на обобщените мрежи което включва:

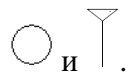
1. Дефиниция на преход и обобщена мрежа
2. Алгоритмите за функциониране на преход и обобщена мрежа
3. Съставянето на алгебричен, топологичен, програмен, функционален и логически аспекти
4. Показан е и опростен модел на железопътна гара.

### 1.1. Въведение в теорията на обобщените мрежи


Обобщените мрежи (ОМ) са средства за моделиране на паралелно протичащи във времето процеси. Те включват като частни случаи мрежите на Петри и всички техни модификации.

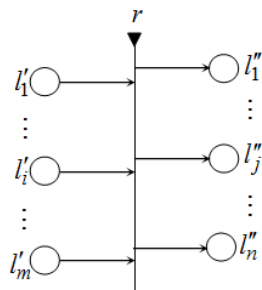
### 1.2. Дефиниция на преход и обобщена мрежа

ОМ е съставена от преходи. Графично всеки преход се представя чрез два елемента -



Всеки преход в ОМ трябва да има поне една входна и поне една изходна позиция (Фиг. 1.1).

Графичното означение на позицията е с кръгче (). Всяка от позициите на ОМ може да има не повече от една дъга за постъпване и най-много една дъга за напускане. Постъпващата дъга се нарича изходна за прехода, а напускащата – входна. Входните позиции се намират винаги от лявата страна на прехода, а изходните – от дясната. За всеки преход могат са налични  $m$  входни и  $n$  изходни позиции, където  $m \geq 1$  и  $n \geq 1$ . Когато в една входна позиция не влиза дъга, тя се нарича вход на мрежата. Съответно изходът на мрежата е изходна позиция, от която не излиза дъга.



Фиг. 1.1 Представяне на преход в ОМ

Процесът на преминаването на ядра от входна към изходна позиция се нарича активиране на прехода. Всяко ядро, влизащо в мрежата, получава начална характеристика. При преминаване към нов преход ядрото получава нова характеристика и този процес се повтаря докато ядрото натрупа своята история. Всяка позиция от ОМ има и свой капацитет.

Условието на прехода представлява индексирана матрица, съдържаща толкова реда, колкото са входните позиции на съответния преход и толкова колони, колкото са изходните му позиции. За примерния преход от Фиг.1 индексираната матрица ще има размерност  $m \times n$ . Елементите и са предикати, които получават логически стойности („true“ или „false“). Всяка входна и изходна позиция са свързани с предикат, който ако получи стойност „true“, ядрата от съответната входна позиция ще могат да се придвижат до определена изходна. В противен случай, ако при стойност „false“, ядрата ще си останат в същата входна позиция.

За да се представи индексираната матрица първо е необходимо да се дефинират множествата  $I$  и  $R$ , като  $I$  е фиксирано множество от индекси, а  $R$  е множеството на реалните числа. Тогава за индексирана матрица с индексни множества  $K$  и  $L$  ( $K, L \subset I$  и  $K = \{ k_1, k_2, \dots, k_m \}$ ,  $L = \{ l_1, l_2, \dots, l_n \}$ ), се получава [104, 106]:

$$\left[ K, L, \{ a_{k_i, l_j} \} \right] = \begin{array}{c|cccc} & l_1 & l_2 & \dots & l_n \\ \hline k_1 & a_{k_1, l_1} & a_{k_1, l_2} & \dots & a_{k_1, l_n} \\ k_2 & a_{k_2, l_1} & a_{k_2, l_2} & \dots & a_{k_2, l_n} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_m & a_{k_m, l_1} & a_{k_m, l_2} & \dots & a_{k_m, l_n} \end{array},$$

където  $a_{k_i, l_j} \in R$  за  $i \in [1, m]$  и  $j \in [1, n]$ .

**Преходът на ОМ** се задава чрез наредената седморка от вида:

$$Z = \langle L', L'', t_1, t_2, r, M, \square \rangle,$$

Условието на прехода, определящо кои ядра могат да преминат от входните към изходните му позиции, се задава чрез индексирана матрица от вида:

$$r = \begin{array}{c|cccc} & l''_1 & \dots & l''_j & \dots & l''_n \\ \hline l'_1 & r_{1,1} & \dots & r_{1,j} & \dots & r_{1,n} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l'_i & r_{i,1} & \dots & r_{i,j} & \dots & r_{i,n} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l'_m & r_{m,1} & \dots & r_{m,j} & \dots & r_{m,n} \end{array},$$

$$\text{за } i \in \{1, 2, \dots, m\}, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Когато стойността на типа, изчислен като булев израз е “true”, съответния преход може да се активира, в противен случай - не.

**Обобщена мрежа** наричаме наредената четворка:

$$E = \langle \langle A, \pi_A, \pi_L, c, f, \theta_1, \theta_2 \rangle, \langle K, \pi_K, \theta_K \rangle, \langle T, t^\circ, t^* \rangle, \langle X, \Phi, b \rangle \rangle,$$

В описанието на дадена ОМ може да не се съдържат всичките ѝ компоненти. В този случай, на местата на липсващите компоненти се пише “\*” и мрежата се нарича “редуцирана”.

Статичната част на дадена обобщена мрежа се определя от елементите на множество  $pr_{1,2,6,7}A$ , т.е. от входните и изходните позиции на мрежата, от индексираната матрица на дъгите и от типа на преходите. Динамичният характер на мрежата се определя от ядрата на ОМ и от условията на преходите. Времевият характер се обуславя от времеви компоненти  $T, t^\circ, t^*$  и от елементите на множество  $pr_{3,4}A$ .

## Алгоритми за функциониране на преход и обобщена мрежа

### Алгоритъм за функциониране на преход

#### Алгоритъм А

(A01) Входните и изходните позиции на прехода се подреждат според техните приоритети.

(A02) Ядрата във входните позиции се подреждат в списък по приоритетите им.



(A03) Генерира се индексирана матрица  $R$ , която съответства на индексираната матрица на условието на прехода  $r$ . Елементите на  $R$  имат стойност „0”, която съответства на вярностна стойност „false”.

(A04) Обхождането на входните позиции се извършва последователно по реда, определен от приоритетите им.

(A05) В зависимост от това дали разцепването е позволено или не, ядрото от стъпка (A04) се премества или във всички допустими изходни позиции, или до единствената изходна позиция, която съответства на елемент в реда на матрицата  $R$ , чиято стойност е „1”.

(A06) Текущият брой на ядрата във всяка изходна позиция, в която е постъпило ново ядро на предишната стъпка, нараства с „1”.

(A07) Текущият брой на ядрата във входната позиция намалява с 1, ако ядрото от стъпка (A05) е преминало в изходна позиция.

(A08) Капацитетите на всички дъги, по които е преминало ядро се намаляват с 1.

(A09) Изчисляват се стойностите на характеристична функция  $\Phi$  за изходните позиции (една или повече), в които са постъпили ядра според стъпка (A05).

(A10) Ако има входна позиция, с приоритет по-нисък от текущата, от която ядра не са преминавали към изходни позиции на текущата стъпка, алгоритъмът продължава с (A04).

(A11) Текущата стойност  $t'$  на моделното време се увеличава с  $t^\circ$ .

(A12) Проверява се достигнат ли е момент  $t_1 + t_2$ .

(A13) Край на активното състояние на прехода.

### **Алгоритъм за функциониране на обобщена мрежа В.**

В този алгоритъм се използва понятието *абстрактен преход*, за чиято дефиниция е необходимо дефинирането на операции на преходите.

#### **Алгоритъм В**

(B01) В съответните входни позиции на мрежата се въвеждат всички ядра  $\alpha$ , за които  $\theta_k(\alpha) \leq t_T$ .

(B02) Съставя се абстрактен преход на обобщената мрежа.

(B03) Проверява се дали стойността на текущото време е по-малка от  $T + t^*$ .

(B04) Ако отговорът на въпроса в (B03) е „не”, се преустановява функционирането на обобщената мрежа.

(B05) Определят се всички преходи, за които моментът на активиране  $t_1$  е равен на текущата стойност на моделното време  $t_T$ .

(B06) Изчислява се вярностната стойност на типа на прехода ( $\square$ ) за всички преходи, определени в стъпка (B05).

(B07) Към абстрактния преход се добавят всички преходи, за които булевите изрази, изчислени на стъпка (B06), имат стойност „true”.

(B08) За абстрактния преход се прилага общия *Алгоритъм за функциониране на преход (Алгоритъм А)* за една времева стъпка  $t^\circ$ .

(B09) Всички преходи, които трябва да се деактивират, се отстраняват от абстрактния преход.

(B10) Текущото време се увеличава с  $t^\circ$ , т.е.  $t_T = t_T + t^\circ$ .

(B11) Алгоритъмът продължава със стъпка (B03).

## ОМ-модел на жп гара

Тук показваме най-простия ОМ-модел, илюстрирайки възможността за изграждане на ОМ-модели и тяхното последователно модифициране.

Нека имаме спирка на влак, която ще представим чрез ОМ преход. Влаковете ще бъдат представяни чрез ядра с начални характеристики, например:

“идентификационен номер на влака, изминати километри, име на машинистите и т.н.”.

В най-простия си вид ОМ-моделът на жп гара съдържа само един преход (вж. фиг. 1.2)

$$Z = \langle \{l_I\}, \{l_O\}, t_1, t_2, r, M, \nu(l_I) \rangle,$$

за който в началото  $t_1$  е моментът на пристигане на първия влак на гарата и след това този компонент получава чрез функция  $\theta_1$  моментите от време, в които ще пристигнат следващите влакове;

$t_2$  в началото е продължителността на престой на гарата на първия влак, а след това чрез функция  $\theta_2$  този компонент последователно получава като стойност времето на престой на следващите влакове. За най-простия пример предполагаме, че:

$$r = \frac{l_O}{l_I} \Big|_{true},$$

т.е. всеки влак пристига в точно определен момент, стои на гарата точно определено време и продължава своя път в предварително зададен момент (съгласно някакво разписание).

Характеристичната функция  $\Phi$  може да бъде дефинирана така, че да дава в резултат например

“име на гара, момент на пристигане и тръгване и т.н.”. Накрая времевите компоненти на модела могат да бъдат например  $T = 0 : 00$  ч. за определен ден,  $t^0 = 1$  мин,  $t^* = 24$  ч.

Очевидно в този ОМ-модел всяко ядро (например  $\alpha$ ) може да получи само една нова характеристика, т.е.  $b(\alpha) = 1$ . Множеството на ядрата съдържа всички влакове, които могат да пристигнат на гарата.

Разбира се, в този си вид моделът все още е силно ограничен. Той може да се разшири в различни посоки. От една страна, можем да добавим нови преходи от горния вид, така че да опишем всички перони на конкретна гара, а впоследствие – всички жп гари, така че да се получи цялата жп система в страната. От друга страна, може например да опишем движението на пътничопотока само в рамките на една гара.

$$M_2 = \begin{array}{c|c} & l_0 \\ l_1 & n \\ l_3 & n \end{array},$$

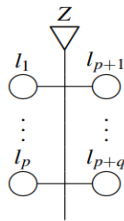
Някои от основните процеси, които протичат на една гара, могат да се описват на различни нива на детайлизация. Някои от моделите могат да се използват за проиграване и предсказване на различни възможни ситуации, които могат да настъпят на дадена гара (закъснение на влакове, връзка между линии, промяна на вида влакова композиция и т.н.).

## Глава втора. Двупосочна обобщена мрежа

Тук за първи път ще предложим **дефиниции** на четири разширения на ДОМ, като за всяко едно от тези разширения ще докажем, че е консервативно разширение на стандартната ОМ. Представени са четири варианта, които демонстрират алгоритмите за функциониране на мрежата. Това позволява установяването на две теореми, които показват, че "Функционирането и резултатите от работата на всяка двупосочна обобщена мрежа могат да бъдат представени чрез стандартните Обобщени Мрежи".

### 2.1. Дефиниция на двупосочна обобщена мрежа

ДОМ, подобно на стандартната ОМ, е изградена от преходи, но при тях липсват стрелки от входните към изходните позиции (вж. Фиг.2.1.).



Фиг. 2.1. Преход на ДОМ

Формално всеки преход на ДОМ се описва чрез наредената шесторка

$$Z = \langle L, t_1, t_2, r, M, \square, \rangle$$

където:

(а)  $L$  е крайно непразно множества от позиции (едновременно входове и изходи на прехода); за прехода от фиг. 1.1.2 те са:

$$L = \{ l_1, l_2, \dots, l_p, l_{p+1}, l_{p+2}, \dots, l_{p+q}' \}$$

(б)  $t_1$  е текущият момент от време, в който преходът може да се активира;

(в)  $t_2$  е текущата продължителност на активното състояние на прехода;

(г)  $r$  е ИМ, която задава *условията* на прехода и има вида:

$$r = \begin{array}{c|cccccc} & l_1 & \dots & l_p & l_{p+1} & \dots & l_{p+q} \\ \hline l_1 & false & \dots & false & r_{1,p+1} & \dots & r_{1,p+q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_p & false & \dots & false & r_{p,p+1} & \dots & r_{p,p+q} \\ l_{p+1} & r_{p+1,1} & \dots & r_{p+1,p} & false & \dots & false \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{p+q} & r_{p+q,1} & \dots & r_{p+q,p} & false & \dots & false \end{array} ;$$

където,  $r_{ij}$  е предикатът, който ако в текущия момент има вярностна стойност истина, разрешава ядро от  $i$ -тата позиция да премине в  $j$ -тата позиция, докато в противен случай това е невъзможно;

(д)  $M$  е ИМ на капацитетите на дъгите на прехода и

$$M = \begin{array}{c|cccccc} & l_1 & \dots & l_p & l_{p+1} & \dots & l_{p+q} \\ \hline l_1 & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_p & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 \\ l_{p+1} & 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{p+q} & 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \end{array} ;$$

(е)  $\square$  е типът на прехода – булев израз, чиито аргументи са идентификаторите на всички позиции на прехода, свързани с логическите функции  $\wedge$  и  $\vee$ ; например:

$\wedge(l_{i_1}, l_{i_2}, \dots, l_{i_u})$  - означава, че всяка позиция  $l_{i_1}, l_{i_2}, \dots, l_{i_u}$  съдържа поне едно ядро, и  $\vee(l_{i_1}, l_{i_2}, \dots, l_{i_u})$  - означава, че има поне едно ядро в множество от позиции  $l_{i_1}, l_{i_2}, \dots, l_{i_u}$ , където  $\{l_{i_1}, l_{i_2}, \dots, l_{i_u}\} \subset L'$ .

Когато е настъпил моментът за активиране на прехода и вярностната стойност на булевия израз е истина, преходът се активира, а в противен случай – не.

Съществената разлика между ОМ и ДОМ се състои в това, че сега всяка позиция може да бъде едновременно и входна и изходна.

Наредената четворка

$$E = \langle \langle A, \pi_A, \pi_L, c, f, \theta_1, \theta_2 \rangle, \langle K, \pi_K, \theta_K \rangle, \langle T, t^\circ, t^* \rangle, \langle X, \Phi, b \rangle \rangle,$$

се нарича обобщена мрежа, ако:

(а)  $A$  е множеството на преходите на ОМ;

(б)  $\pi_A$  е функция, която задава приоритетите на преходите, т.е.

$$\pi_A : A \rightarrow N ;$$

(в)  $\pi_L$  е функция, която задава приоритетите на позициите, т.е.

$$\pi_L : L \rightarrow N, \text{ където:}$$

$$L = pr_1A \cup pr_2A$$

и  $L$  е множеството на всички позиции на ОМ;

(г)  $c$  е функция, която задава капацитетите на позициите, т.е.  $L \rightarrow N$

(д)  $f$  е функция, която изчислява вярностната стойност на предикатите на условията на преходите в ОМ; за стандартна ДОМ, функцията  $f$  получава стойности *false* (*лъжа*) или *true* (*истина*), или елементи на множеството  $\{0,1\}$ ;

(е)  $\theta_1$  е функция, която задава следващия момент от време, в който даден преход  $Z$  може да се активира, т.е.  $\theta_1(t) = t'$ , където  $pr_3Z = t, t' \in [T, T + t^*]$  и  $t < t'$ ; стойността на тази функция се изчислява в момента на активиране на ОМ, а след това във всеки момент, в който преходът престава да бъде активен;

(ж)  $\theta_2$  е функция, която задава продължителността на активното състояние на даден преход  $Z$ , т.е. ,  $\theta_2(t) = t'$ , където  $pr_3Z = \in \in [T, T + t^*]$  и  $t' > 0$ ; стойността на тази функция се изчислява в момента , в който преходът се активира;

(з)  $K$  е множеството на всички ядра на ОМ;

(и)  $\pi_K$  е функция, която задава приоритетите на ядрата, т.е.

$$\pi_K: K \rightarrow N$$

(й)  $Q_K$  е функция, която задава момента от време, в който дадено ядро може да влезе в ОМ, т.е.,  $\theta_K(\alpha) = t$ , където  $\alpha \in K$  и  $t \in [T, T + t^*]$ ;

(к)  $T$  е моментът от време, определен по фиксирана времева скала, в който ОМ започва да функционира;

(л)  $t^0$  е елементарна времева стъпка, свързана с фиксираната времева скала;

(м)  $t^*$  е продължителността на функциониране на ОМ;

(н)  $X$  е функция, която задава началната характеристика на всяко ядро  $\alpha$ , което предстои да влезе в ОМ; удобно е да се означава с  $x_0^\alpha$

(о)  $\Phi$  е характеристична функция, която задава на всяко ядро, влязло в някоя позиция на ОМ, следващата му характеристика; удобно е текущата характеристика на ядрото  $\alpha$  да се означава с  $x_{си}^\alpha$

(п)  $b$  е функция, която дава максималния брой характеристики, които дадено ядро може да получи, т.е.  $b: K \rightarrow N$ ; например ако  $b(\alpha) = 1$  то това ядро ще влезе в ОМ с начална характеристика (означена като негова нулева характеристика) и във всеки следващ момент то ще има само една (текуща) характеристика; когато  $b(\alpha) = \infty$ , ядрото  $\alpha$  ще получи и съхрани всичките си характеристики; когато  $b(\alpha) = k < \infty$ , ядрото освен началната си характеристика ще пази и последните  $K$  характеристики, които е получило.

Статичната структура на дадена ДОМ се определя от позициите  $\dot{y}$ , ИМ на капачетите на дъгите и типа на всеки преход на ДОМ. Динамичната природа на ДОМ се обуславя от нейните ядра и от условията на преходите  $\dot{y}$ . Времето същност на ДОМ се извява чрез времевите компоненти  $T$ ,  $t^0$ ,  $t^*$  и от функциите, определящи началните моменти на активиране на преходите и продължителностите на активните им състояния. Накрая, компонентите  $\Phi$ ,  $X$  и  $b$  играят ролята на памет на ОМ.

Функциите  $\pi_A, \pi_L, c$  са свързани със статичната структура на ОМ,  $f, \pi_K$  - с динамичните ѝ елементи;  $Q_1, Q_2$  и  $Q_k$  - с времевите ѝ компоненти.

Виждаме, че дефинициите на ДОМ и на стандартната ОМ се различават в точките: (г), (е) от определението за преход, както и в това, че дъгите в ДОМ не са ориентирани, докато в ОМ са ориентирани.

Тук, за пръв път ще предложим дефиниции на четири разширения на ДОМ: Интуиционистки размита ДОМ от първи, втори, трети и четвърти вид - ИРДОМ1, ИР- ДОМ2, ИРДОМ3, ИРДОМ4:

- ИРДОМ1 е ДОМ, чиито предикати се изчисляват чрез интуиционистки размити оценки, т.е., като наредени двойки  $\langle a, b \rangle$  където  $a, b, a + b \in [0, 1]$ . Числата  $a$  и  $b$  съответстват на степените на вярност и невярност на съответния предикат. След като дадено ядро премине от една позиция към друга, то получава освен характеристиката, която би получило в стандартна ДОМ, но и двете си оценки.
- ИРДОМ2 е ДОМ, чиито ядра са "течности които протичат от позиция в позиция, предикатите са както в ИРДОМ1, но сега позициите получават характеристики, вместо ядрата. Тези характеристики, както и при ИРДОМ1, съдържат интуиционистки размитите оценки на предикатите, които са разрешили протичането.
- ИРДОМ3 е разширение на ИРДОМ1, при което и получените характеристики наядрата имат в добавка интуиционистки размитите оценки.
- ИРДОМ4 е разширение на ИРДОМ2, при което и получените характеристики напозициите имат в добавка интуиционистки размитите оценки.

За всяко едно от тези разширения може да се докаже, че е консервативно разширение на стандартната ОМ, т.е., че за всяко

$j = 1,2,3,4$  за всяка ИРДОМ $j$  съществува стандартна ОМ, която описва функционирането и резултатът от работата на дадената ИРДОМ.

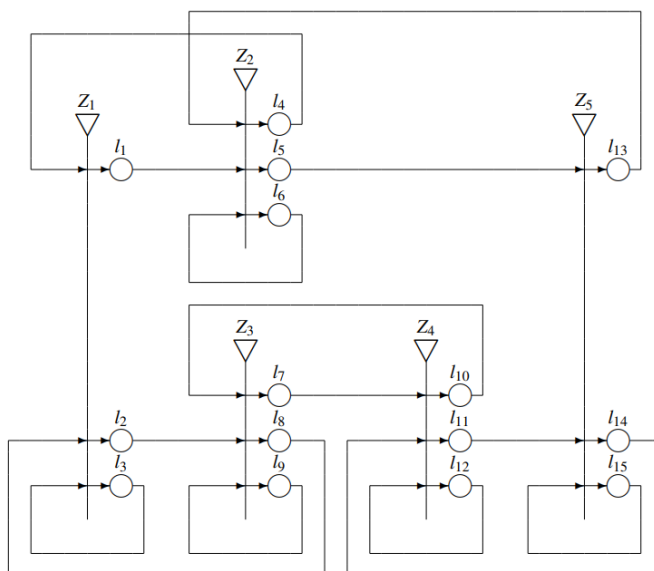


## Пример

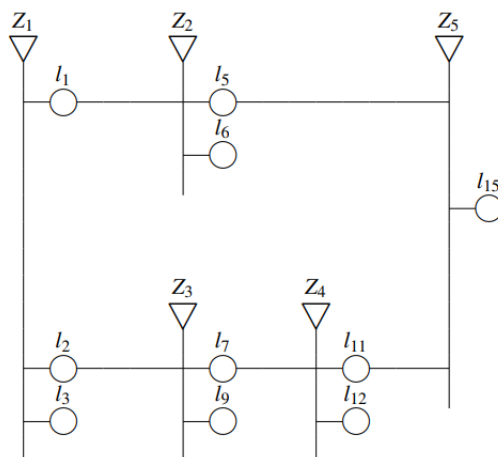
Тук е описан ОМ-модел на част от влаковата система в България. Умалена част от този ОМ-модел е показана на фиг. 2.2. На фиг. 2.3., е показан същият модел, посредством ДОМ. Преходите на двете фигури представляват гари. Преходите  $l_3$ ,  $l_6$ ,  $l_9$ ,  $l_{12}$  и  $l_{15}$  съответстват на железопътните перони на гарите. Влаковете са представени от ОМ-ядра, които преминават от входните до изходните позиции на ОМ-преходите. Когато влакът тръгне от лявата гара към по-десните, той се прехвърля през съответните дъги, докато когато тези ядра трябва да представят движението от по-дясна гара към по-левите, те използват дъгите с по-сложна форма.

Същата ситуация е описана на фиг.2.3., където мрежата е от тип ДОМ. Сега железопътните перони са представени от места с еднакви идентификатори, но всяка от тях има само една неориентирана дъга. Така че, ако искаме да опишем, че неподвижен влак стои на гарата, той стои на съответното място, откъдето се насочва наляво или надясно, без да прави цикъл, както е в ОМ-случая.

Преходът от станция към съседната станция се осъществява по съответната неориентирана дъга.



Фиг. 2.2. ОМ-модел



Фиг.2.3. ДОМ-модел

Сега тук няма цикли, както на фиг.2.2. и поради тази причина част от позициите са пропуснати. Специално запазиме идентификаторите на позициите, които продължават да съществуват във втория модел, за да поясним разликата между двата модела. Очевидно втората (на фиг.2.3.) е по същество по-проста. Примерът показва, че новият тип мрежи ни дава възможност да конструираме по-прости модели.

## 2.2. Основна теорема

### *Теорема 1.*

***Функционирането и резултатите от работата на всеки ДОМ могат да бъдат представени чрез стандартен ОМ.***

Очевидно всеки стандартен ОМ може да се възприема като ДОМ, в който всички ядра се трансформират само от входни (вляво) към изходни (вдясно) позиции. Следователно стандартните ОМ са частни случаи на ДОМ. От друга страна, доказваме следната теорема:

***„Функционирането и резултатите от работата на всеки ДОМ могат да бъдат представени чрез стандартен ОМ“.***

## Доказателство

Теоремата гарантира, че ОМ (и техните разширения) са конструирани чрез преходи и ако искаме да сравним функционирането и резултатите от работата на двете различни мрежи - разширена ОМ и стандартна ОМ, трябва да покажем, че всеки преход образува първите мрежови функции и дава като резултат от своята работа същите резултати като частта от втория ОМ, която представлява това.

## Преход

Нека  $Z_{ДОМ}$  е произволен преход на ДОМ  $E_{ДОМ}$ . Той е показан на фиг.2.4. Към него съпоставяме подмрежата на стандартния ОМ  $E$ , показан на фиг.2.2.

Той съдържа  $p+q+2$  прехода  $Z_{1,1}, \dots, Z_{1,p}, Z, Z_{2,1}, \dots, Z_{2,1,q}, Z_3$ . Да приемем, че всички компоненти на прехода  $Z_{ДОМ}$  и на ДОМ  $E_{ДОМ}$  съвпадат с тези от дефинициите на ДОМ-прехода и на целия ДОМ от фиг.2. Ще ги използваме при описанието на  $E$  компоненти. На позиции  $l_1, \dots, l_p$  на  $Z_{ДОМ}$  може да въвежда ядра от позиции извън преход  $Z_{ДОМ}$  и от неговите позиции  $l_{p+1}, \dots, l_{p+q}$  може да пропуснат ядра към други преходи. Тези позиции са обозначени на фиг.5. съответно от  $l^* l, \dots, l_{p+q}$ .

И така, двойка позиции  $(l_i^*, l_i), 1 \leq i \leq p + q$  в ОМ  $E$ - съответства на позиция  $l_i$  от ДОМ  $E_{ДОМ}$ . Ще напишем, че от тях могат да пристигнат произволен брой ядра и този факт ще обозначим в М-ИМ чрез символ “ $\infty$ ”.

За  $i(1 \leq i \leq p)$ , преходът  $Z_{1,i}$  има формата:

$$Z_i = \langle \{l_i^*, m_i, m_{p+q+i}\}, \{l_i\}, t_1 + \frac{2}{3}t^0, \frac{1}{3}t^0, r_{1,i}, M_{1,i}, \vee (m_i, m_{p+q+i}) \rangle,$$

където:

$$r_{1,i} = \begin{array}{c|c} & l_i \\ \hline l_i^* & true \\ m_i & true \\ m_{p+q+i} & true \end{array}$$

и

$$M_{1,i} = \begin{array}{c|c} & l_i \\ \hline l_i^* & \infty \\ m_i & 1 \\ m_{p+q+i} & p+q \end{array}.$$

Моментът време  $\tau$  за задействане на прехода има две стойности:

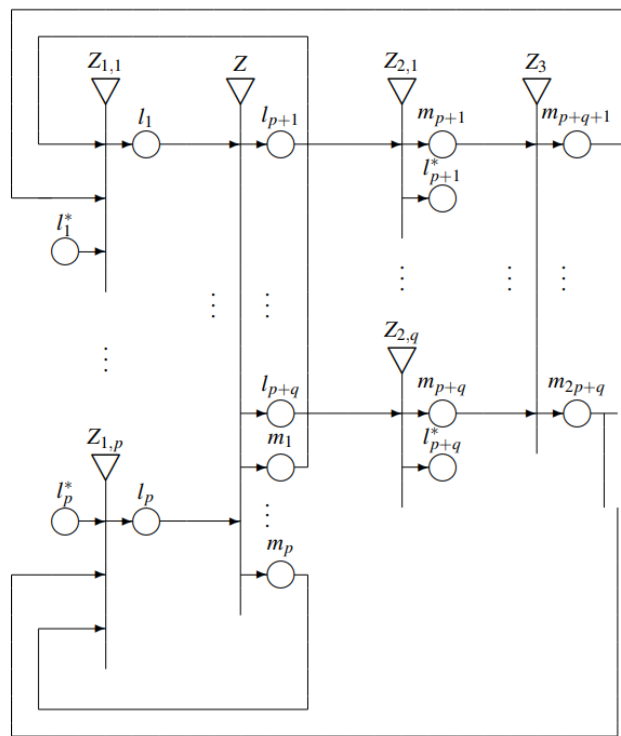
$$\tau = t_1 - \frac{1}{3}t^0$$

когато ядрата от преход  $l_i^*$  влизат в позиция  $l_i$  и

$$\tau = t_1 + \frac{2}{3}t^0$$

когато ядрата от позиции  $m_i$  или  $m_{p+q+i}$ , влизат в позиция  $l_i$ .

Ядрата от позиции  $m_i$  и  $m_{p+q+i}$ , влизат в позиция  $l_i$  със същата характеристика., като ядрата на ДОМ ще получат същата позиция на ЕДОМ .



Фиг.2.4. Мрежа на  $Z_{ДОМ}$

Нека позициите  $l_i, \dots, l_{p+q}$  на прехода  $Z$  имат същите характеристични функции, капацитети и приоритети като съответните позиции на  $Z_{ДОМ}$ . Използваме равни означения за по-добра визуализация на съответствията. Преходът  $Z$  има формата:

$$Z_i = \langle \{l_i^*, \dots, l_p\}, \{l_{p+1}, \dots, l_{p+q}, m_1, \dots, m_p\}, r, \frac{1}{3}t^0, M, \square_{ДОМ} \rangle,$$

където:

$$r = \frac{\begin{array}{c|cccc} & l_{p+1} & \dots & l_{p+q} & m_1 & \dots & m_p \\ \hline l_1 & r_{1,p+1} & \dots & r_{1,p+q} & r_{1,1} & \dots & r_{1,p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_p & r_{p,p+1} & \dots & r_{p,p+q} & r_{p,1} & \dots & r_{p,p} \end{array}}{}$$

и

$$M = \frac{\begin{array}{c|cccc} & l_{p+1} & \dots & l_{p+q} & m_1 & \dots & m_p \\ \hline l_1 & r_{1,p+1} & \dots & r_{1,p+q} & r_{1,1} & \dots & r_{1,p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_p & r_{p,p+1} & \dots & r_{p,p+q} & r_{p,1} & \dots & r_{p,p} \end{array}}{}$$

С □<sub>ДОМ</sub> означаваме, че от булевия израз сме пропуснали променливите  $l_{p+1}, \dots, l_{p+q}$ .

Ядрата от позиции  $l_1, \dots, l_p$  влизат в позиции  $l_{p+1}, \dots, l_{p+q}$  със същите характеристики като ядрата на ДОМ, и ще получат същите позиции на Е<sub>ДОМ</sub>.

От друга страна, ако тези ядра влязат в някои от позициите  $m_1, \dots, m_p$ , те няма да получат никаква характеристика. За  $i(1 \leq i \leq q)$ , преходът  $Z_{1,p+i}$  има формата:

$$Z_{2,i} = \langle \{l_{p+i}\}, \{l_i, l_{p+i}^*\}, t_1 + \frac{2}{3}t^0, \frac{1}{3}t^0, r_{2,i}, M_{2,i}, \vee(l_{p+i}) \rangle,$$

където:

$$r_{2,i} = \frac{\begin{array}{c|cc} & l_i & l_{p+i}^* \\ \hline m_i & r_{p+i,1} \vee \dots \vee r_{p+i,p} & \neg(r_{p+i,1} \vee \dots \vee r_{p+i,p}) \end{array}}{}$$

и

$$M_{2,i} = \frac{\begin{array}{c|cc} & l_i & l_{p+i}^* \\ \hline m_i & 1 & \infty \end{array}}{}$$

Ядрата от позиции  $l_{p+i}$  влизат в позиция  $m_{p+i}$  без характеристики, и като ядра на ДОМ те ще получат същата позиция на Е<sub>ДОМ</sub>.

Така, че:

$$Z_3 = \langle \{m_{p+1}, \dots, m_{p+q}\}, \{m_{p+q+1}, \dots, m_{2p+q+1}\}, t_1 + \frac{1}{3}t^0, \frac{1}{3}t^0, r_3, M_3, \vee(m_{p+1}, \dots, m_{p+q}) \rangle,$$

$$M_3 = \begin{array}{c|cccc} & m_{p+q+1} & \dots & m_{2p+q} & m_{2p+q+i} \\ m_{p+1} & 1 & \dots & 1 & q \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ m_{p+q} & 1 & \dots & 1 & q \end{array} .$$

Ядрата влизат в  $m$ -позиции без никаква характеристика.

Приоритетите на позиции  $l_i^*$ ,  $m_i$ ,  $m_{p+i}$  съвпадат с тези на позиция  $l_i$  за  $1 \leq i \leq p + q$ .

Нека обсъдим начина на функциониране на новата мрежа. Нека имаме ядро  $\alpha$ , което във времеви момент  $t_1$  ще влезе на позиция  $l_i$  от  $Z_{ДОМ}$ , ( $1 \leq i \leq p$ ). В ОМ от фиг.2.4., на позицията на  $l_i^*$  ще стои съответната ядро  $\alpha$ .

В момента  $t_1 - \frac{1}{3}t^0$ , когато преходът  $Z_{l,i}$  ще започне да функционира, това ядро, ще влезе на позиция  $l_i$ , получавайки характеристика, която съвпада с характеристиката на съответното ядро  $\alpha$  в  $E_{ДОМ}$ .

Ядрото  $\alpha$  (в  $E_{ДОМ}$ ) може да се прехвърли на всяка от позициите  $l_1, \dots, l_{p+q}$ , по отношение на стойността на истината на предиката  $l_{r,j}$  за  $1 \leq j \leq p + q$ , където ще получи следваща характеристика. Сега, в ОМ- Е, процесът ще протича по един от следващите сценарии:

**Първи вариант:** ядрото  $\alpha$  от позиция  $l_i$  на  $E_{ДОМ}$  ( $1 \leq i \leq p$ ) влиза в позиция  $l_j$  за  $1 \leq j \leq p$ .

Тази ситуация включва случая  $j = i$ . Сега ядрото  $\alpha$  от позиция  $l_i$  влиза в позиция  $m_j$  във времеви момент  $t_1 + \frac{1}{3}t^0$ , защото  $r_{i,j} = \text{true}$ . В резултат на това преходът  $Z_{l,j}$  ще бъде активиран във времеви момент  $t_1 + \frac{2}{3}t^0$ , и ядрото  $\alpha$  ще влезе в позиция  $l_j$ , получавайки там същата характеристика, както ядрото  $\alpha$  ще получи в  $E_{ДОМ}$ .

**Втори вариант:** ядро  $\alpha$  от позиция  $l_i$  на  $E_{ДОМ}$  ( $1 \leq i \leq p$ ) влиза в позиция  $l_j$  за

$p + 1 \leq j \leq p + q$ . Сега ядрото  $\alpha$  от позиция  $l_i$  на Е влиза в позиция  $l_j$ , получавайки там същата характеристика, както ядрото  $\alpha$  ще получи в  $E_{ДОМ}$ .

**Трети вариант:** ядрото  $\alpha$  от позиция  $l_i$  на  $E_{ДОМ}$  ( $p + 1 \leq i \leq p + q$ ) влиза в позиция  $l_{p+j}$  при

$1 \leq j \leq q$ . Тази ситуация включва случая  $p + j = i$ . Сега ядрото  $\alpha$  от съответната позиция  $l_i$  на Е влиза на позиция  $m_{p+j}$  в момент  $t_1 + \frac{1}{3}t^0$ , тъй като  $r_{i,j} = \text{true}$  и след това, в момент  $t_1 + \frac{2}{3}t^0$ , влиза на позиция  $m_{2p+q+1}$  поради същата причина. И накрая, в момент  $t_1 + t^0$  той ще влезе на позиция  $l_j$  със същата характеристика като ядрото  $\alpha$  в  $E_{ДОМ}$ .

**Четвърти вариант:** ядрото  $\alpha$  от позиция  $l_i$  на  $E_{ДОМ}$  ( $p + 1 \leq i \leq p + q$ ) влиза в позиция  $l_j$  за  $1 \leq j \leq p$ . Сега ядрото  $\alpha$  от съответната позиция  $l_i$  на  $E$  влиза в позиция  $m_{p+j}$  в момент от време  $t_1 + \frac{1}{3}t^0$ , тъй като  $r_{i,j} = true$  и след това в момент от време  $t_1 + \frac{2}{3}t^0$  влиза

в позиция  $m_{p+q+1}$ . И накрая, в момент  $t_1 + t^0$  той ще влезе на позиция  $j$  със същата характеристика като ядрото  $\alpha$  в  $E_{ДОМ}$ .

Следователно всяка ситуация, която може да възникне с ядрото  $\alpha$  в  $E_{ДОМ}$ , ще възникне със съответното ядро в  $E$  и двете ядра, ще получат еднакви характеристики.

И така, **теорема 1 е доказана**. Нека означим с  $\Sigma$  класа на всички стандартни ОМ. Фактът, че всички ОМ генерират клас, но не набор от теоретична гледна точка, се обсъжда в цитираните книги. Нека  $\Sigma_{ДОМ}$  е класът на всички ДОМ. Фактът, че всички ДОМ генерират клас, но не и набор се доказва аналогично.

Като следствие от теорема 1 е валидна валидността на следното **твърдение**:

## **Теорема 2**

**Класът  $\Sigma_{ДОМ}$  е консервативно разширение на класа  $\Sigma$ .**

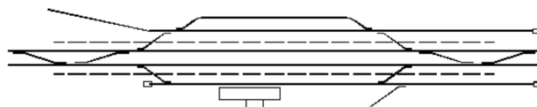
Както видяхме от примера показан по горе, ДОМ има по-проста графична форма от стандартната ОМ. Така че, ДОМ може да се използва в сложни модели с обратна връзка.

Така създадените ДОМ модели, могат да бъдат основа на нови ОМ-приложения, свързани с моделиране, симулация, оптимизация и управление на реални процеси.

## Глава трета. ДОМ-модел на железопътна гара Бургас

### 3.1. Организиране на движението в железопътна гара

България е възприела немската философия за организиране на движението в железниците. Железният път е ясно разделен на два основни вида - **път в гара и открит път** (междугарие). В гарата се извършват всички дейности по организиране на железопътния трафик чрез съвкупност от коловози и съпътстващи съоръжения. Районът на гарата по отношение на железния път се ограничава от входните светофори, чрез които на пристигащите влакове се разрешава да влязат в гарата и се указва с каква скорост могат да влязат. Някои коловози в гарите не са оборудвани с изходни светофори. От тези коловози не могат да заминават влакове и те се използват само при маневрената дейност. Някои коловози имат изходни светофори и от тях могат да заминават влакове, но не могат да се приемат, защото в осигурителната техника на гарата не е създадена такава възможност. Най-разпространени са приемноотправните коловози, на които могат както да се приемат, така и да се изпращат влакове, (показани на фиг.3.1.). В гарата почти винаги има коловоз, който е прав по отношение на междугариято (преминава по правия клон на всички стрелки). Той се нарича главен коловоз и по него влаковете могат да преминават с максимална скорост. В гари, където се пресичат няколко ЖП линии или в гари на двойни и двупътни линии може да има няколко главни коловоза.



Фиг.3.1. Примерна схема на гара по двойна железопътна линия с диспечерска централизация, с възможност за секциониране на коловозите

Големите гари се разделят на обособени части, наречени паркове, които създават удобство и увеличават възможностите за обслужване на по-натоварен трафик. Всеки парк има свои изходни светофори, като светофорите, сочещи към съседния парк се явяват междинни и



разрешават движение не към междугарието, а към следващия парк.

Парковете имат специализирани функции и обединяват еднотипните дейности в големите гари. Най-често се обособява пътнически парк с перони за пътническите влакове и товарен парк, където се обработват само товарни влакове. В големите разпределителни гари има разпределителен парк, където се събират, групират и разпределят вагоните и един или два приемноотправни парка, където влаковете се приготвят, заминават и пристигат.

### **3.2. ДОМ-модел на железопътна гара Бургас**

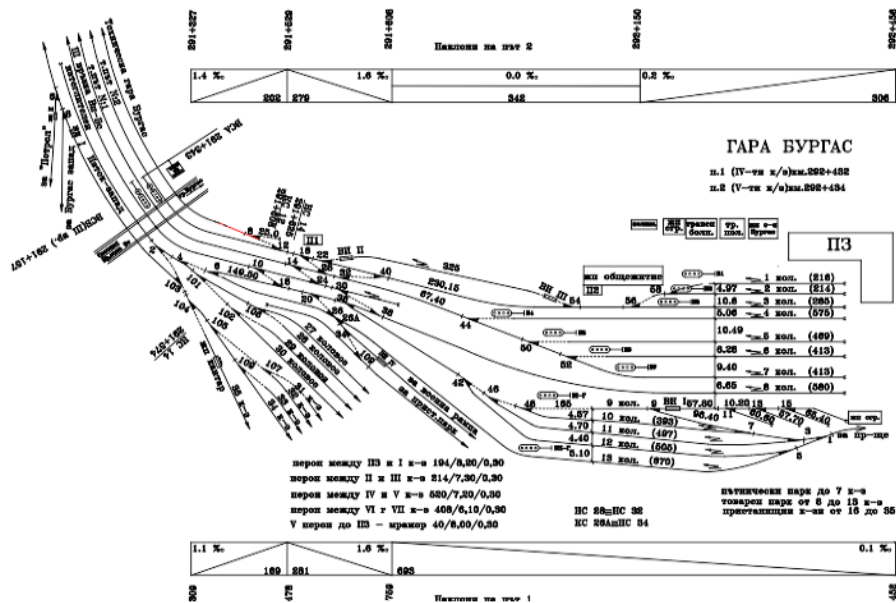
В тази глава са описани подробно преходите на двупосочната обобщена мрежа, състояща се от общо 43 прехода и 79 позиции.

За по добро визуализиране, добавихме допълнителни означения на крайните точки от чертежа на гара Бургас показан на фиг.3.5., където:

Точките от  $T_1$  до  $T_{13}$ - пристанищни коловози,  $T_{14}$  – товарен парк, от  $T_{15}$  до  $T_{22}$  пътнически парк,  $P_1$  - връзка изток запад,  $P_2$  - изтеглителен коловоз,  $P_3$  - Връзка ВН-БС,  $P_4$  - Т. Път № 11,  $P_5$  - Т. Път № 12,  $P_6$  – техническа гара.

Преходите описват железопътната транспортна схема на ж.п. гара Бургас.

ДОМ-моделът на железопътна гара Бургас е показана на Фиг.3.5. Той съдържа множество от преходи, за които в началото  $t_1$  е моментът на преминаване на първия влак през съответния преход, след което този компонент получава чрез функция  $Q_1$  после- дователните моменти от време, в които ще преминават следващите влакове, като  $t_2$  в началото е продължителността на времето за преминаване на първия влак, а след това чрез функция  $Q_2$  този компонент последователно получава като стойност времената за преминаване на следващите влакове.



Фиг.3.5. Железопътна гара Бургас

Всяко ядро на ДОМ описва конкретен влак и има начална характеристика:

“идентификационен номер на влака, изминати километри,

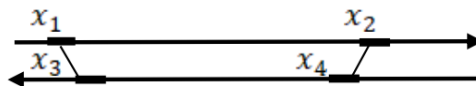
име на машинистите, брой вагони, брой на пътниците и т.н.”.

Приемаме, че всеки влак пристига в точно определен момент, стои на гарата точно определено време, преминава през всеки преход в точно определено време, и продължава своя път в предварително зададен момент (съгласно някакво разписание).

Множеството на ядрата на ДОМ съдържа всички влакове, които могат да влязат, излязат или престоят на гара Бургас.

Ако няколко влака трябва да преминават през един преход, като показания на Фиг.3.6., ще трябва да дефинираме функция (с), която за всяка позиция да задава капацитет 1. Характеристичната функция Ф може да бъде дефинирана така, че да дава в резултат например:

“време на преминаване на влака през текущата позиция”.



Фиг.3.6. Преходи в гара

Глобалните времеви компоненти на модела могат да бъдат например  $T = 0 : 00$  ч. за определен ден,  $t^0 = 1$  мин,  $t^* = 24$  ч., като пример за това е даден в Таблица 3.1.

Таблица 3.1. Компоненти на преминаване

Преход	Дължина на влака [m]	Брой влакове за 24 часа	Време на престой [min]	Ускоряване $[\frac{m}{s^2}]$	Скорост [км/ч]
$X_1$	200	10	2.0	0.15	30
$X_2$	100	10	3.0	0.15	30
$X_3$	200	15	1.0	0.20	30
$X_4$	50	18	1.0	0.10	30

В този модел приоритетите на ядрата могат да бъдат свързани с моментите на пристигането на влаковете на прехода, а функция  $Q_k$  ще определя тези моменти.

Например, ако  $TIME$  е текущият момент от време и в него пристигне влак, който идва със закъснение спрямо разписанието си, т.е.  $t_1 < TIME$ , където  $t_1$  е моментът на пристигане според разписанието, и ако  $TIME < t_1 + \tau$ , където  $\tau$  е времето, предвидено за престой на влака на перона, или времето през което трябва да премине през прехода - то функция  $\theta_2$  може да бъде дефинирана така, че в момент  $TIME$  да получи стойност  $t_1 + \tau - TIME$ .

На фиг.3.7., е визуализиран модел с трите подмрежи  $G_1$ ,  $G_2$  и  $G_3$  на като са показани връзките между частите от обобщената мрежа, които се осъществяват посредством позиции  $l_{14}$ ,  $l_{43}$ ,  $l_{44}$ ,  $l_{45}$ ,  $l_{24}$ .

На Фиг.3.8., 3.9., 3.10., 3.11., са визуализирани ОМ моделите на подмрежите  $G_1$ ,  $G_2$  и  $G_3$ . Матриците на преходите  $Z_1, \dots, Z_{43}$ , имат следният вид:

$$Z_1 = \langle \{l_1, l_3, l_4\},$$

	$l_1$	$l_3$	$l_4$
$l_1$	<i>false</i>	$W_{1,3}$	$W_{1,4}$
$l_3$	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
$l_4$	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>

$$\rangle,$$

където:

$W_{1,3}$  = “влакът е за точки T2, T3, ..., T7”

$W_{1,4}$  = “влакът е за точка T1”.

Ядрото от позиция  $l_1$  влиза в позиция  $l_3$  с характеристика:

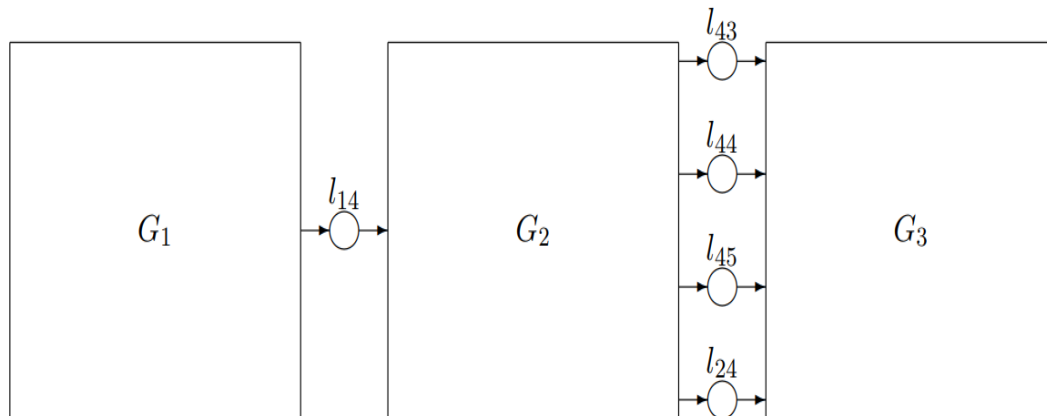
“влакът се движи към точки T2, ..., T7 в (час, минута)”,

и в позиция  $l_4$  с характеристика:

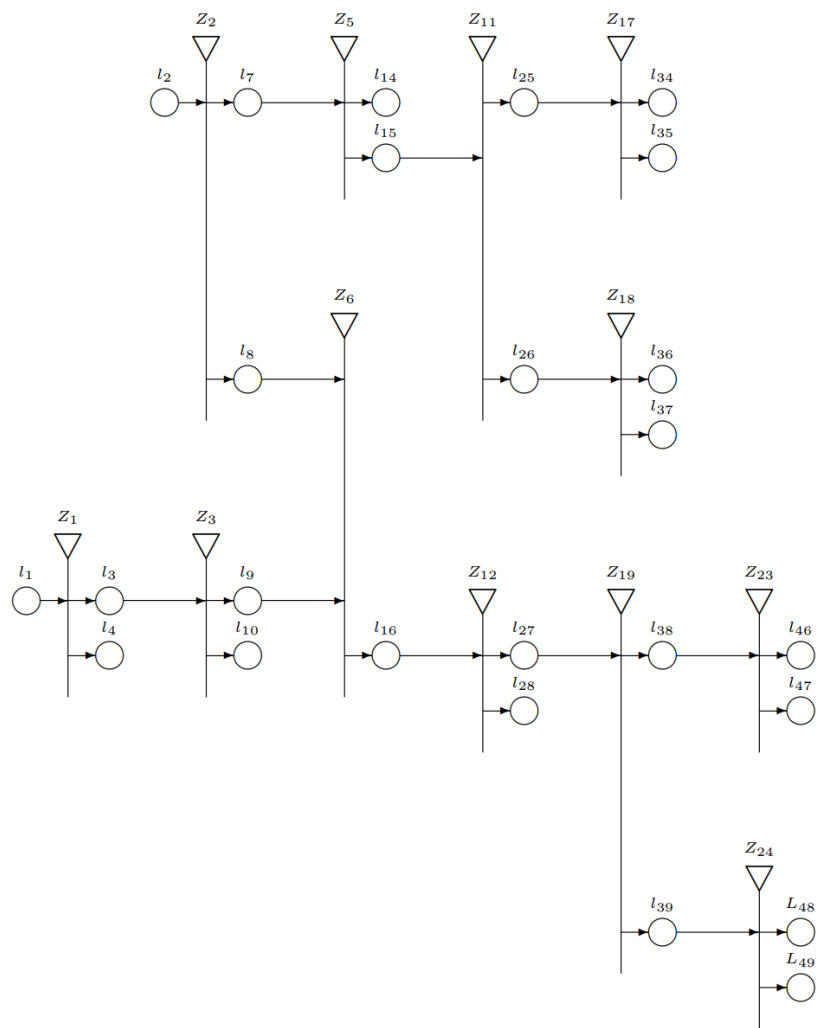
“влакът пристига в точка T1 в (час, минута)”.

Ядрата от позиции  $l_3$  и  $l_4$  влизат в позиция  $l_1$  с характеристика:

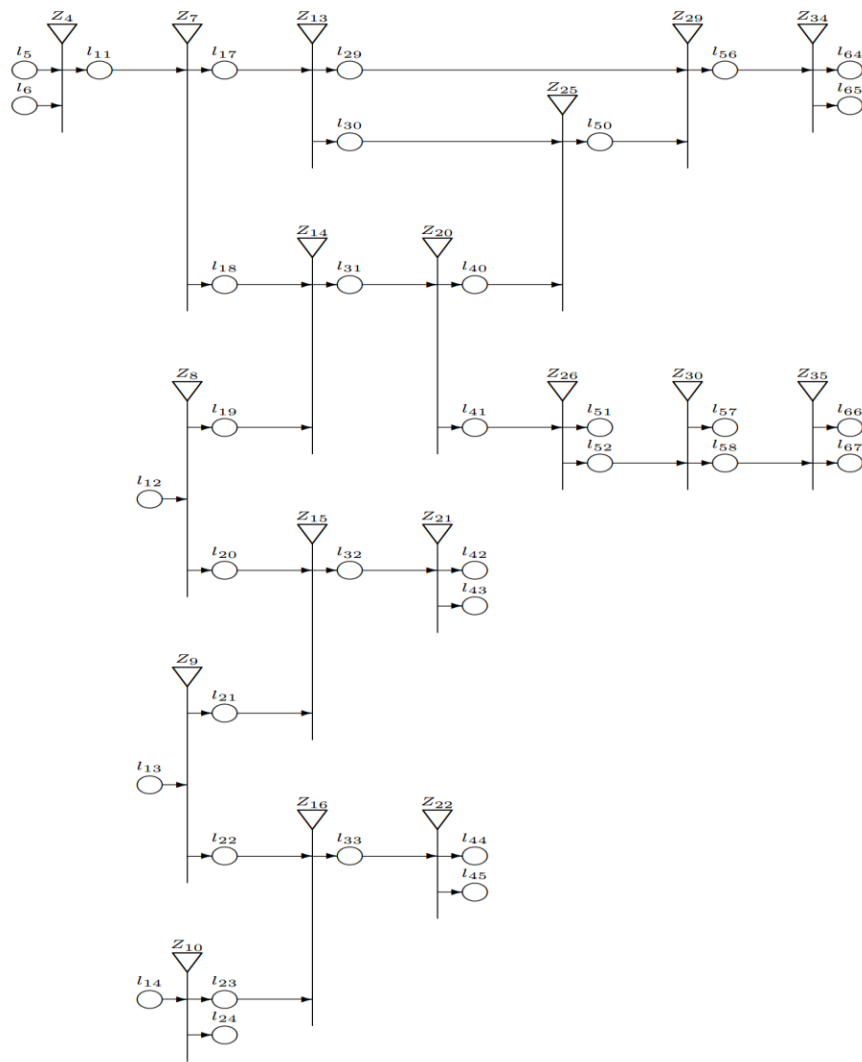
“влакът тръгва по направление П1 в (час, минута)”.



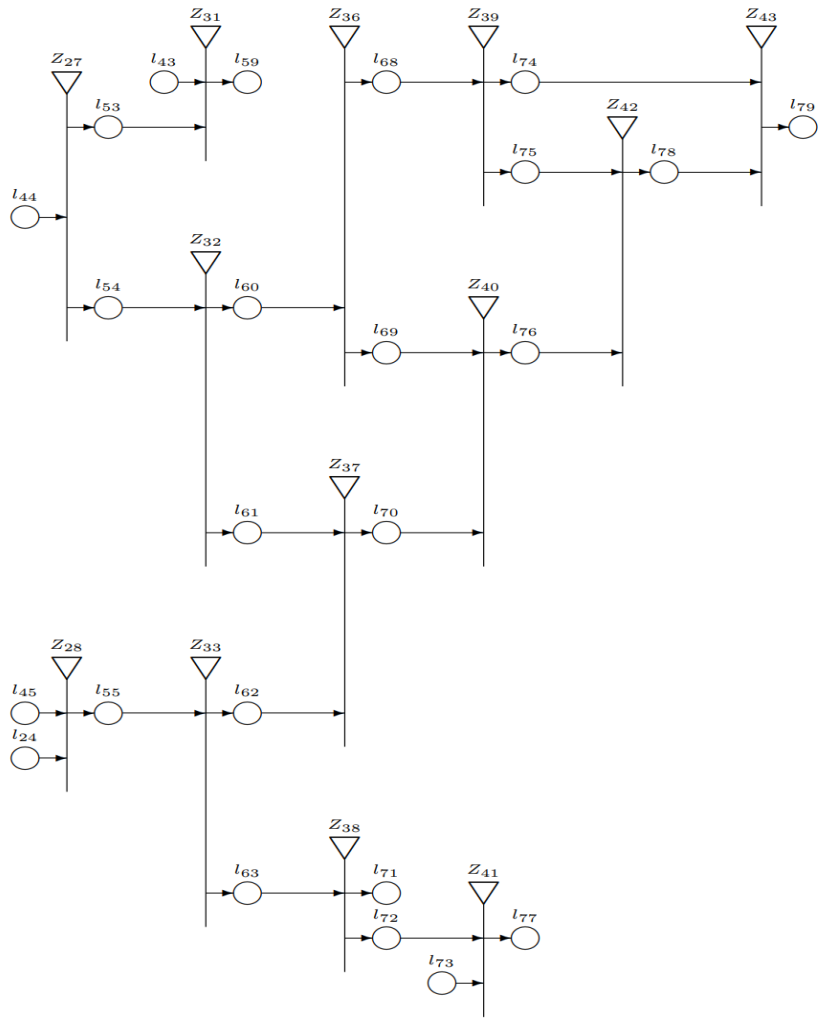
Фиг. 3.8. Визуализиран модел с трите подмрежи G1, G2 и G



Фиг.3.9. Визуализирана част на модел G1 на Ж.П. Гара Бургас



Фиг.3.10. Визуализирана част на модел G2 на Ж.П. Гара Бургас



Фиг. 3.11. Визуализирана част на модел G3 на Ж.П. Гара Бургас

## **Глава четвърта. Обобщенните мрежи като инструмент за моделиране на железопътния транспорт в България**

### **4.1. Подробен обобщеномрежов модел на цялата железопътна мрежа на България**

Тук сме описали подробен **обобщеномрежов модел на цялата железопътна мрежа на България**. Преходите в модела съответстват на гарите в страната, от които има разклонения в поне две посоки, докато гарите, от които няма разклонения са пропуснати.

По долу са описани подробно преходите на обобщената мрежа, състояща се от общо 57 прехода и 197 позиции.

Преходите от  $Z_1$  до  $Z_{20}$ , визуализирани на Фигура 4.2., описват железопътната транспортна схема в Западна България.

Преходите  $Z_{21}$ ,  $Z_{22}$ ,  $Z_{26}$ ,  $Z_{27}$ ,  $Z_{32}$ ,  $Z_{33}$ ,  $Z_{37}$  до  $Z_{40}$  и  $Z_{43}$ , визуализирани на Фигура 4.3., описват железопътната транспортна схема в Северна Централна България. Връзката между частта от обобщената мрежа на Фигура 4.2., и Фигура 4.3., се осъществява посредством позиции  $l_{58}$  и  $l_{69}$ .

Преходите  $Z_{23}$  до  $Z_{25}$ ,  $Z_{28}$  до  $Z_{31}$ ,  $Z_{34}$  до  $Z_{36}$ ,  $Z_{41}$ ,  $Z_{42}$  и  $Z_{44}$  до  $Z_{46}$ , визуализирани на Фигура 4.4., описват железопътната транспортна схема в Южна Централна България. Връзката между частите от обобщената мрежа, показани на Фигура 4.2., и Фигура 4.4., (Западна–Южна България), се осъществява посредством позиции  $l_{63}$ ,  $l_{65}$ ,  $l_{75}$  и  $l_{136}$ .

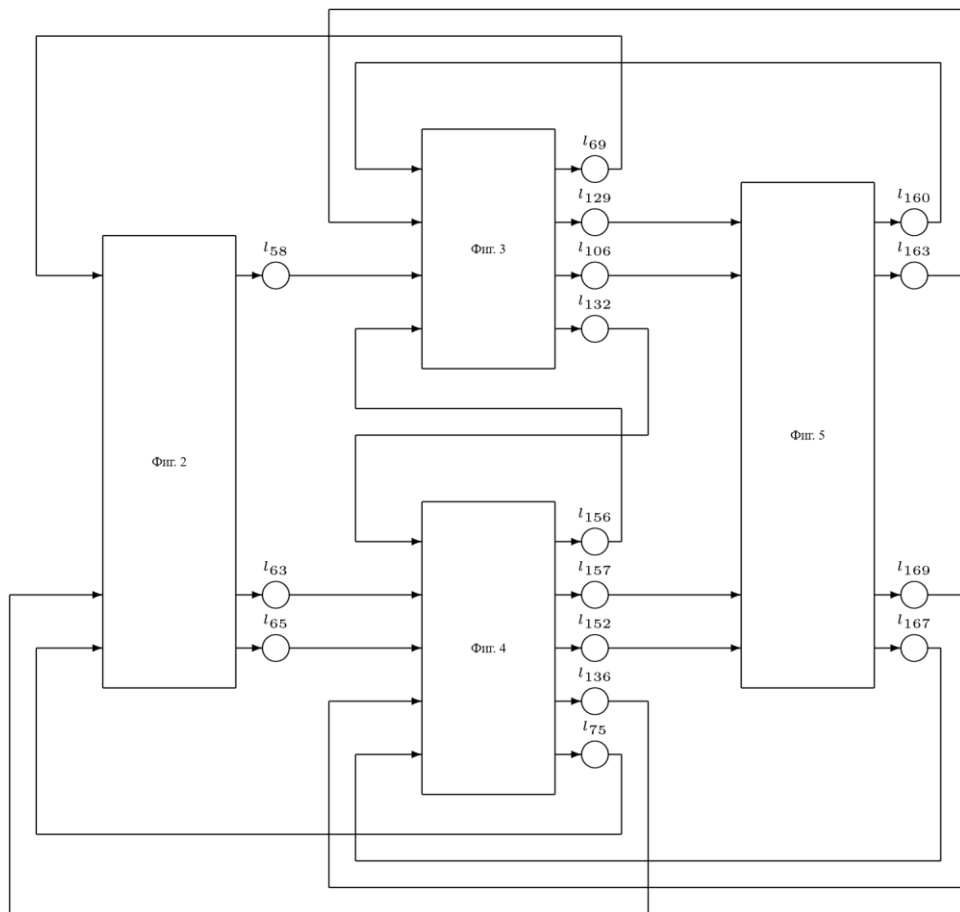
Връзката между частите от обобщената мрежа, показани на Фигура 4.3., и Фигура 4.4., (Северна–Южна България), се осъществява посредством позиции  $l_{132}$  и  $l_{156}$ .



Преходите от  $Z_{47}$  до  $Z_{57}$ , визуализирани на Фигура 4.5., описват железопътната транспортна схема в Източна България. Връзката между частта от обобщената мрежа на Фигура 4.3., и Фигура 4.5., (Северна–Източна България), се осъществява посредством позиции  $l_{106}, l_{129}, l_{160}$  и  $l_{163}$ . Връзката между частта от обобщената мрежа на Фигура 4.4., и Фигура 4.5., (Южна–Източна България) се осъществява посредством позиции  $l_{152}, l_{157}, l_{167}$  и  $l_{169}$ .

Пряка, непосредствена връзка между частите от ОМ модела, визуализирани на Фигура 4.2., и Фигура 4.5., (Западна–Източна България), няма.

На Фигура 4.1., се вижда връзката между четирите части на ОМ модела показани на Фигура 4.2., до Фигура 4.5.



Фиг. 4.1. Връзките между отделните части на ОМ модела на ЖП мрежата в България

## ОМ модел на ЖП мрежата в Западна България

Преходите от  $Z_1$  до  $Z_{20}$ , визуализирани на Фигура 4.2., описват железопътната транспортна схема в Западна България.

ОМ - преходите имат следния вид:

$$Z_1 = \langle \{l_1, l_5, l_{15}\}, \{l_3, l_4, l_5\},$$

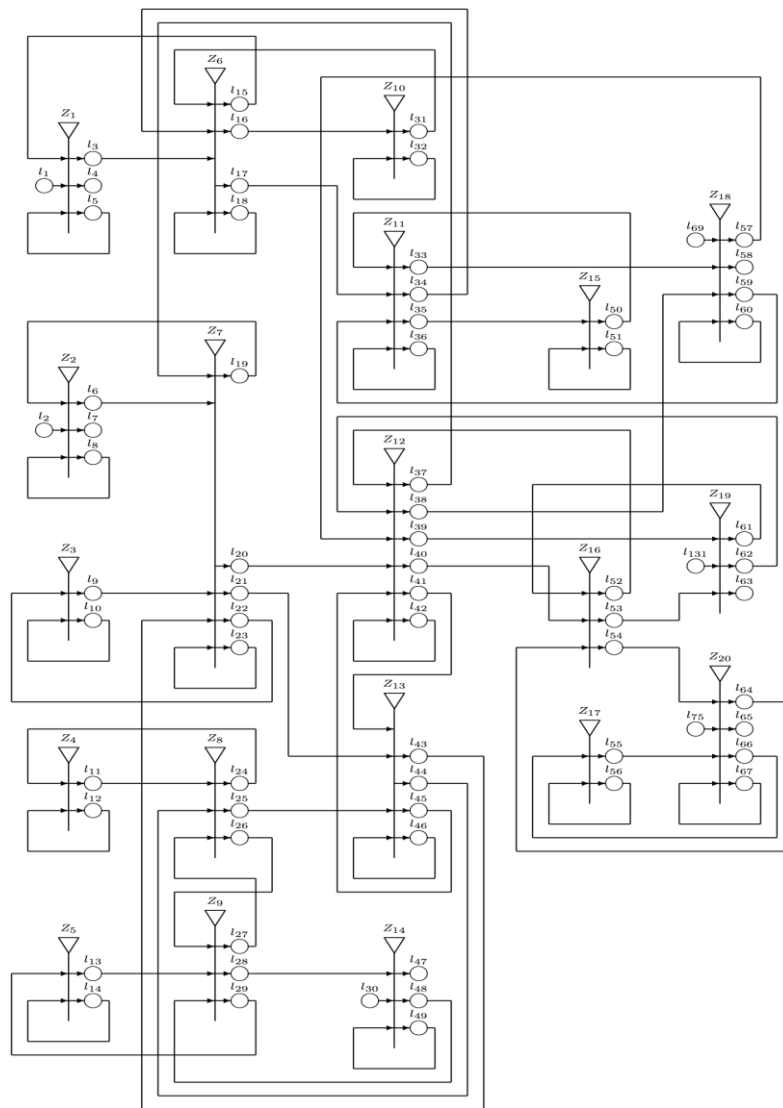
	$l_3$	$l_4$	$l_5$	
$l_1$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	),
$l_5$	$W_{5,3}$	$W_{5,4}$	$W_{5,5}$	
$l_{15}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	

където:

$W_{5,3}$  = “влакът е за гара Брусарци”,

$W_{5,4}$  = “влакът е за гара Калафат (Румъния)”,

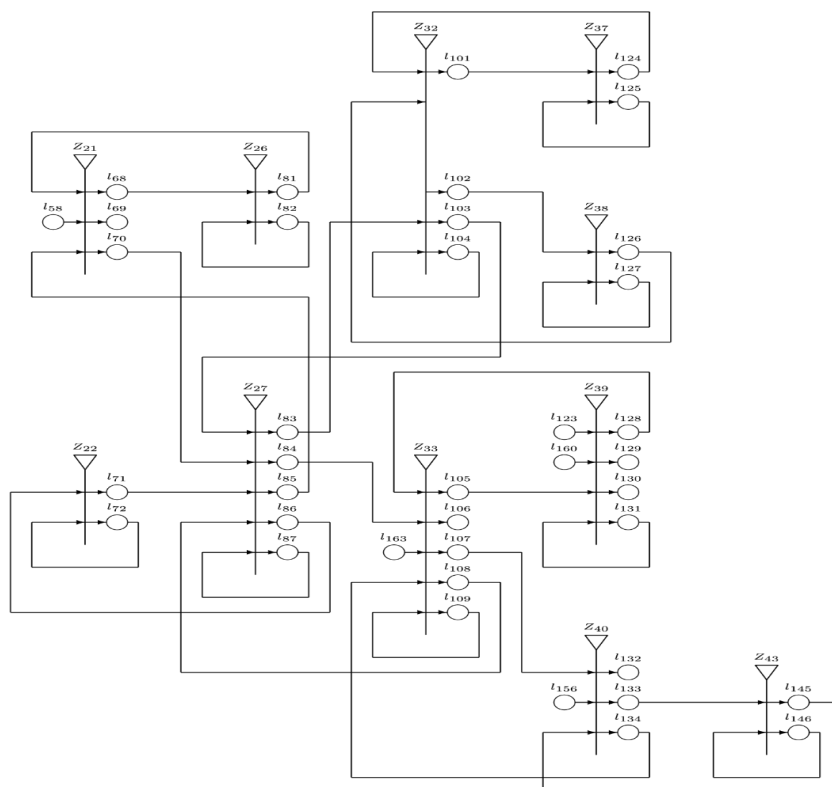
$W_{5,5}$  = “влакът трябва да маневрира на гара Видин”.



Фиг. 4.2. OM модел на ЖП мрежата в Западна България

## ОМ модел на ЖП мрежата в Северна Централна България

Преходите  $Z_{21}$ ,  $Z_{22}$ ,  $Z_{26}$ ,  $Z_{27}$ ,  $Z_{32}$ ,  $Z_{33}$ ,  $Z_{37}$  до  $Z_{40}$  и  $Z_{43}$ , визуализирани на Фигура 4.3., описват железопътната транспортна схема в Северна Централна България.



Фиг. 4.3. ОМ модел на ЖП мрежата в Северна Централна България

**ОМ - преходите** имат следния вид:

$$Z_{21} = \langle \{l_{58}, l_{81}, l_{85}\}, \{l_{68}, l_{69}, l_{70}\}, \begin{array}{c|ccc} & l_{68} & l_{69} & l_{70} \\ \hline l_{58} & false & false & true \\ l_{81} & false & false & true \\ l_{85} & W_{85,68} & W_{85,69} & false \end{array} \rangle,$$

където:

$W_{85,68}$  = „влакът е за гара Черковица“

$W_{85,69}$  = „влакът е за гара Мездра“

\*Този преход съответства на разклонението преди гара Плевен.

### **ОМ модел на ЖП мрежата в Южна Централна България**

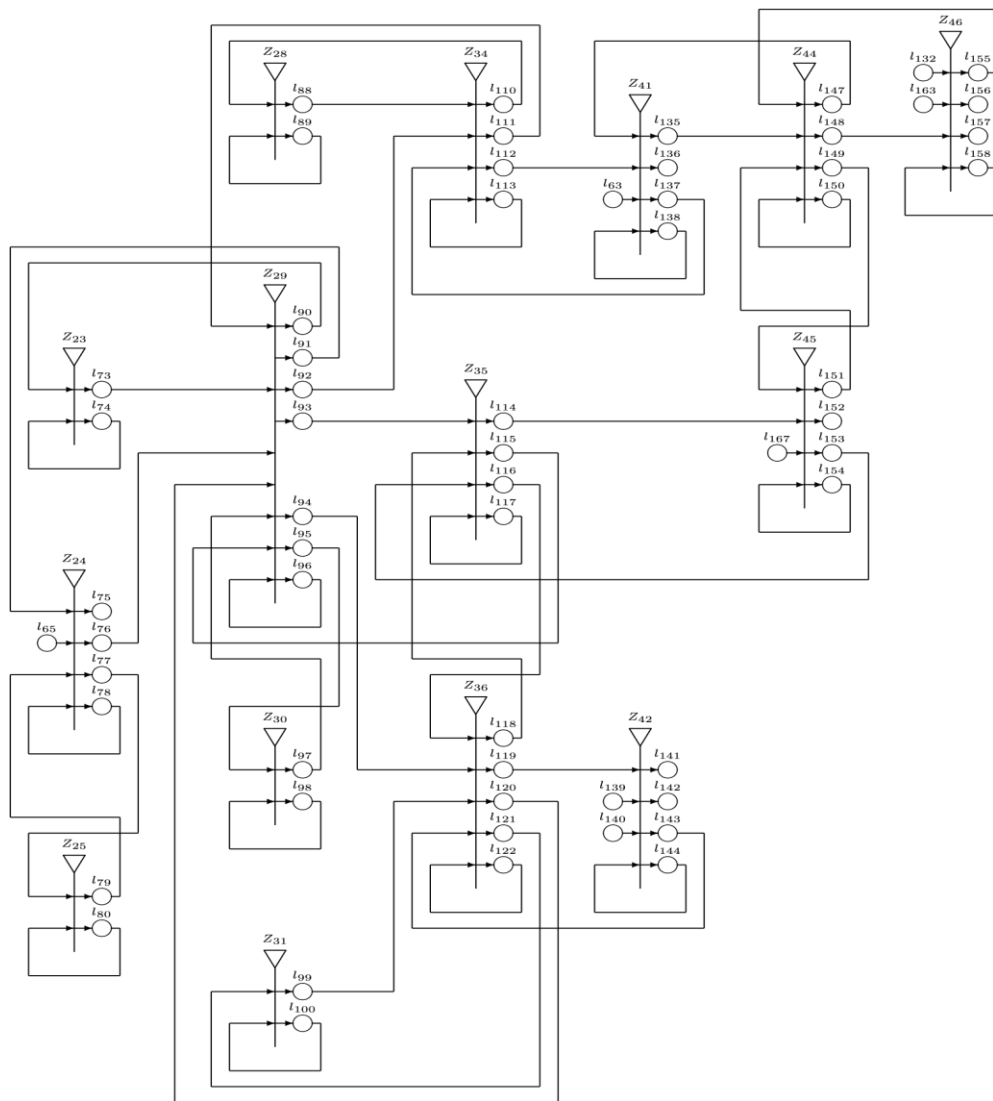
Преходите  $Z_{23}$  до  $Z_{25}$ ,  $Z_{28}$  до  $Z_{31}$ ,  $Z_{34}$  до  $Z_{36}$ ,  $Z_{41}$ ,  $Z_{42}$  и  $Z_{44}$  до  $Z_{46}$ , визуализирани на Фигура 4.4., описват железопътната транспортна схема в Южна Централна България.

$$Z_{23} = \langle \{l_{90}, l_{74}\}, \{l_{73}, l_{74}\}, \begin{array}{c|cc} & l_{73} & l_{74} \\ \hline l_{74} & W_{74,73} & W_{74,74} \\ l_{90} & false & true \end{array} \rangle,$$

където:

$W_{74,73}$  = “влакът е за гара Пловдив”,

$W_{74,74}$  = “влакът трябва да маневрира на гара Панагюрище”.



Фиг. 4.4. OM модел на ЖП мрежата в Южна Централна България

## ОМ модел на ЖП мрежата в Източна България

Преходите от  $Z_{47}$  до  $Z_{57}$ , визуализирани на Фигура 4.5., описват железопътната транспортна схема в Източна България.

$$Z_{47} = \langle \{l_{129}, l_{162}, l_{171}, l_{174}\}, \{l_{159}, l_{160}, l_{161}, l_{162}\},$$

	$l_{159}$	$l_{160}$	$l_{161}$	$l_{162}$	
$l_{129}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	),
$l_{162}$	$W_{162,159}$	$W_{162,160}$	$W_{162,161}$	$W_{162,162}$	
$l_{171}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	
$l_{174}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	

където:

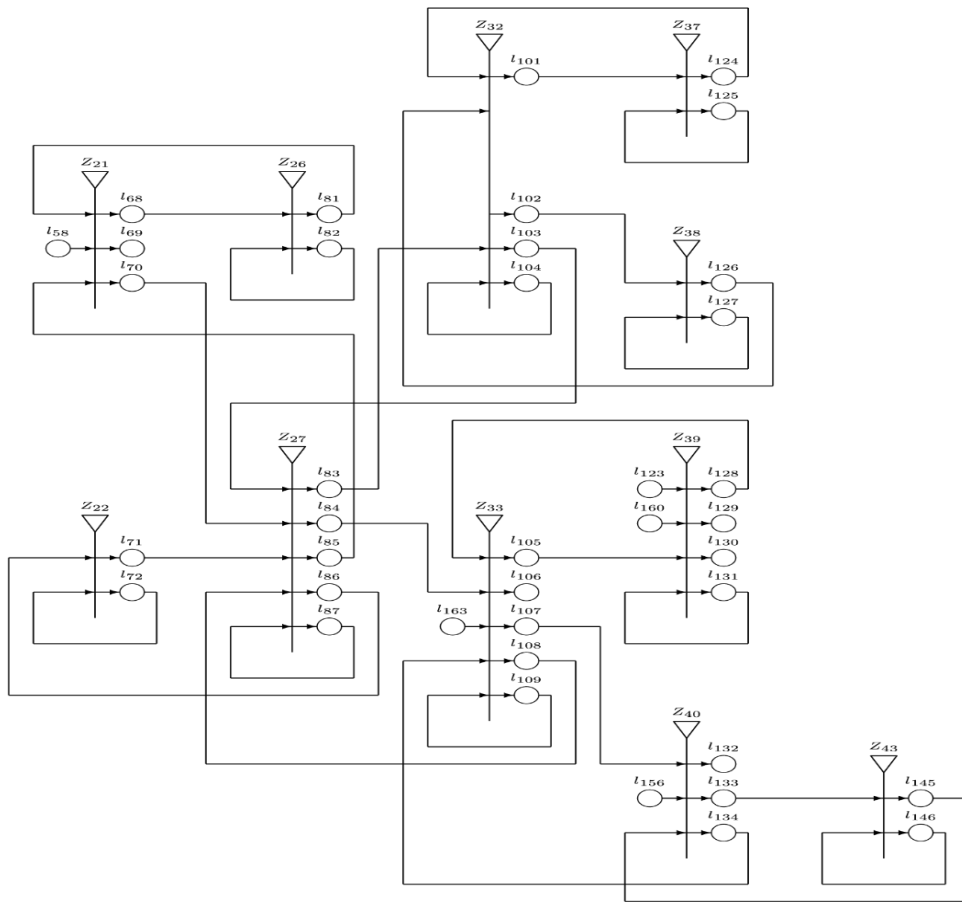
$W_{162,159}$  = “влакът е за гара Русе”,

$W_{162,160}$  = “влакът е за гара Силистра”,

$W_{162,161}$  = “влакът е за гара Каспичан”,

$W_{162,162}$  = “влакът трябва да маневрира на гара Самуил”.





Фиг. 4.5. OM модел на ЖП мрежата в източна България

## ОМ-модел на основните железопътни мрежи в България, даващ връзките между Северна и Южна България

ОМ - моделът съдържа 20 прехода и 80 позиции. Неговите символи представляват отделни влакове, които ще се придвижват от гарата до следващата или с шунт във гарата.

Входните и изходните позиции на преходите представляват следните гари:

$Z_1$  - Видин ( $l_5$ ),  $Z_2$  - София ( $l_{11}$ ),  $Z_3$  - Мездра ( $l_{15}$ ),  $Z_4$  - Радомир ( $l_{19}$ ),  $Z_5$  - Кюстендил ( $l_{22}$ ),  $Z_6$  - Кулата ( $l_{25}$ ),  $Z_7$  - Пловдив ( $l_{29}$ ),  $Z_8$  - Тулово ( $l_{33}$ ),  $Z_9$  - Стара Загора ( $l_{38}$ ),  $Z_{10}$  – Горна Оряховица ( $l_{43}$ ),  $Z_{11}$  - Дъбово ( $l_{47}$ ),  $Z_{12}$  - Димитровград ( $l_{51}$ ),  $Z_{13}$  - Русе ( $l_{57}$ ),  $Z_{14}$  - Зимница ( $l_{61}$ ),  $Z_{15}$  - Свиленград ( $l_{64}$ ),  $Z_{16}$  - Каспичан ( $l_{68}$ ),  $Z_{17}$  - Карнобат ( $l_{72}$ ),  $Z_{18}$  - Синдел ( $l_{76}$ ),  $Z_{19}$  - Варна ( $l_{78}$ ), и  $Z_{20}$  – Бургас ( $l_{80}$ ).

ОМ - преходите имат следния вид:

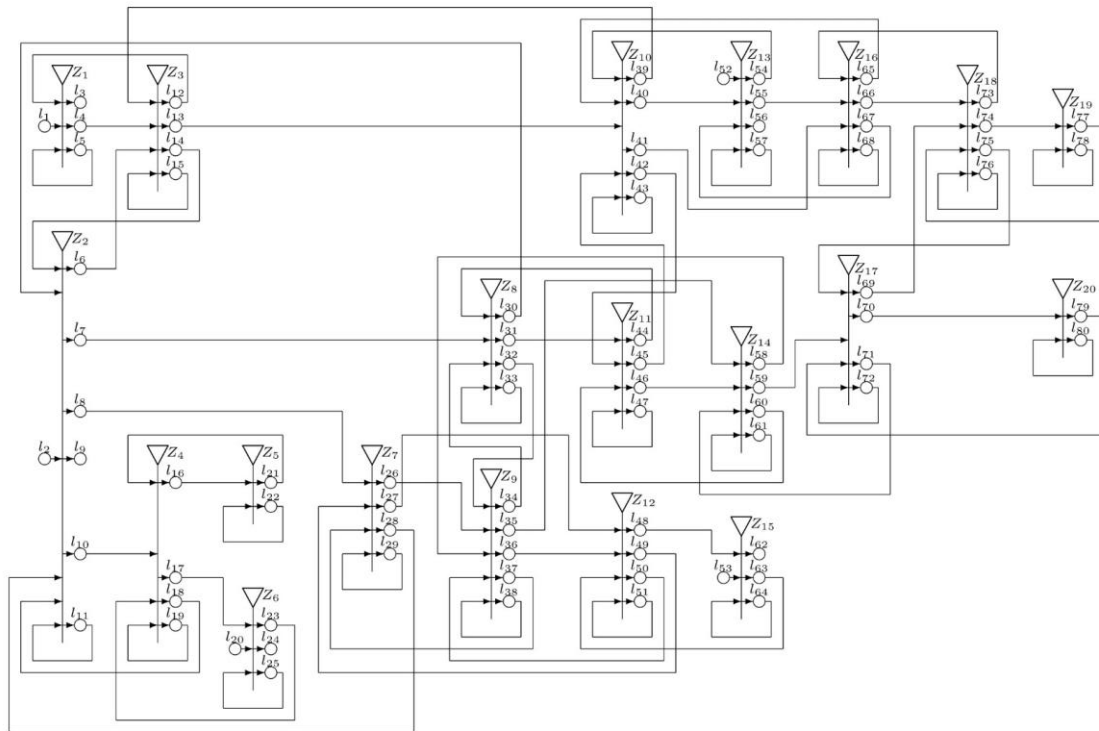
$$Z_1 = \langle \{l_1, l_5, l_{12}\}, \{l_3, l_4, l_5\}, \begin{array}{c|ccc} & l_3 & l_4 & l_5 \\ \hline l_1 & false & false & true \\ l_5 & W_{5,3} & W_{5,4} & W_{5,5} \\ l_{12} & false & false & true \end{array} \rangle,$$

където:

$W_{5,3}$  = „влакът е насочен към Румъния (Калафат)“,

$W_{5,4}$  = „влакът е насочен към гара Мездра“,

$W_{5,5}$  = „влакът трябва да се шунтира на гарата във Видин“.



Фиг.4.6. OM модел на основните железопътни мрежи в България, даващ връзките между Северна и Южна България.

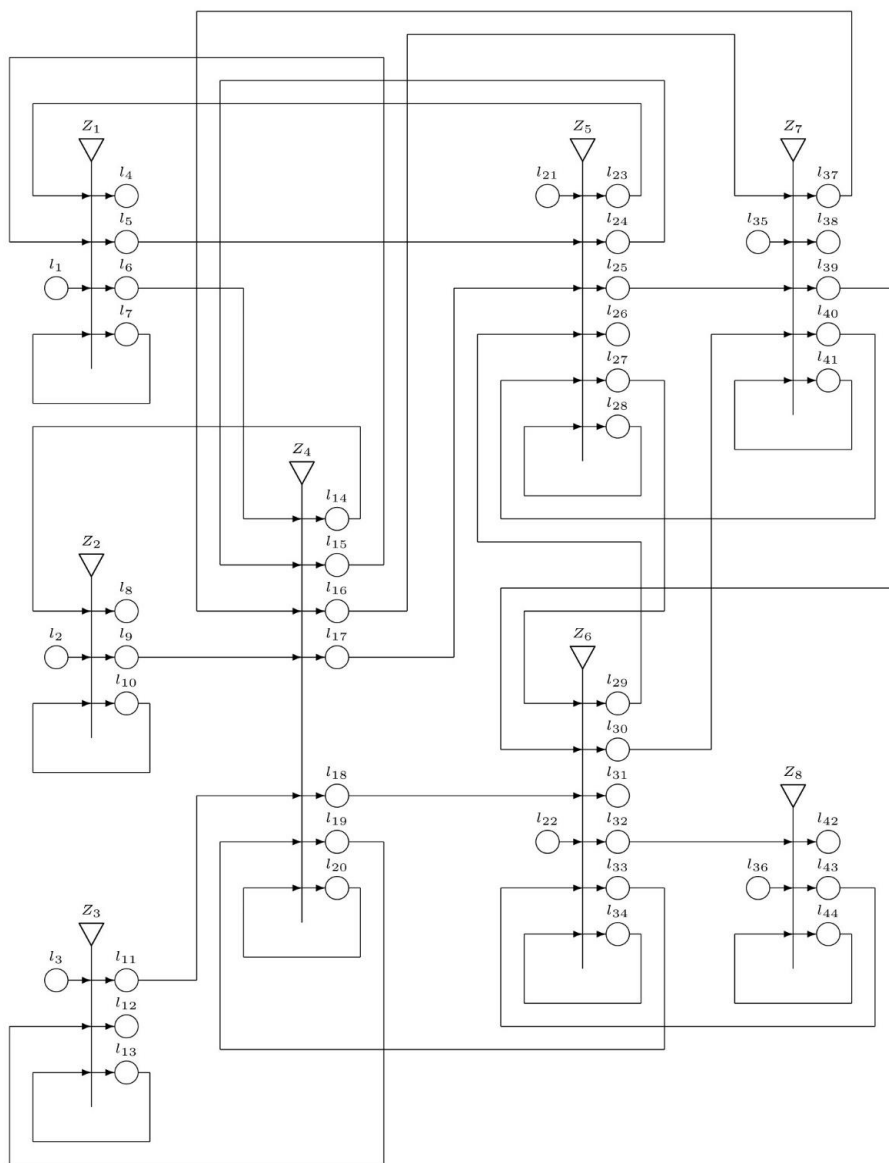
\*Няма изградени железопътни линии между България и Северна Македония

## Глава пета. ОМ-модел на основните железопътни мрежи в България, даващ връзките между България и съседните ѝ държави

В тази глава, ние описваме обобщен мрежов модел на железопътните мрежи, свързващи България със съседните ѝ страни - Румъния, Сърбия, Северна Македония\*, Гърция и Турция, като се интересувахме само от връзките между граничните гари (Видин, Калотина, Кулата, Русе, Свиленград и Кардам) и не се интересувахме от гарите във вътрешността на България.

ОМ - моделът съдържа **8 прехода и 44 позиции**. Неговите символи представляват отделни влакове, които ще се придвижват от гарата до следващата или с шунт на гарата. Входните и изходните позиции на преходите представляват следните жп. гари в България: Z<sub>1</sub> - Видин (*l<sub>7</sub>*), Z<sub>2</sub> - Калотина (*l<sub>10</sub>*), Z<sub>3</sub> - Кулата (*l<sub>13</sub>*), Z<sub>4</sub> - София (*l<sub>20</sub>*), Z<sub>5</sub> - Русе (*l<sub>28</sub>*), Z<sub>6</sub> - Свиленград (*l<sub>3</sub>*), Z<sub>7</sub> - Кардам (*l<sub>39</sub>*), и Z<sub>8</sub>- Капитан Андреево (*l<sub>44</sub>*). Тези позиции са едновременно входи и изходи на преходите. Останалите позиции представляват дейностите на влакове, свързани с влизане или излизане от съответната гара. Седем места (*l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub>, l<sub>3</sub>, l<sub>21</sub>, l<sub>22</sub>, l<sub>35</sub>, l<sub>36</sub>*) са входи на ОМ. Те представят гарите Калафат (Румъния), Димитровград (Сърбия), Екзочи (Гърция), Гюргево (Румъния), Орменион (Гърция), Черна Вода (Румъния) и Одрин (Турция).

<sup>1</sup>Няма железопътни линии между България и Северна Македония\*



Фиг.5.1. OM модел на железопътните мрежи, свързващи България със съседните ѝ страни - Румъния, Сърбия, Северна Македония\*, Гърция и Турция.

**ОМ - преходите** имат следния вид:

$$Z_1 = \langle \{l_1, l_7, l_{15}, l_{23}\}, \{l_4, l_5, l_6, l_7\}, \rangle,$$

	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$l_7$
$l_1$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
$l_7$	$W_{7,4}$	$W_{7,5}$	$W_{7,6}$	$W_{7,7}$
$l_{15}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
$l_{23}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>

където:

$W_{7,4}$  = „влакът е насочен към гарата на Калафат (Румъния)“,

$W_{7,5}$  = „влакът е насочен към гарата на Русе“,

$W_{7,6}$  = „влакът е насочен към гара София“,

$W_{7,7}$  = „влакът трябва да се шунтира на гарата във Видин“.

## **Глава шеста. Обобщеномрежов модел на връзките между различните видове транспорт в България**

Тук показваме **общ механизъм**, който може да разкрие и оптимизира **връзките между времето** за пътуване и динамичните условия на трафика, а също така може да предостави оценки на качеството на услугата „Quality of Service“ (QoS).

**ОМ-моделът** съдържа **6 прехода и 42 места**. Неговите ядра представляват отделни влакове, самолети, (речни или морски) кораби, които ще се придвижват от място до следващия самолет в мрежата. Преходите, обозначени с буквени индекси, представляват следните големи градове в България:  $V_i$  - Видин,  $S_o$  - София,  $R_u$  - Русе,  $P_l$  - Пловдив,  $V_a$  - Варна,  $B_u$  - Бургас.

**ОМ - преходите** имат следния вид:

$$V_i = \{l_3, l_4, l_{12}, m_1\}, \{l_1, l_2, l_3, m_2\},$$

	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$m_2$	
$l_3$	$W_{3,1}$	$W_{3,2}$	$W_{3,3}$	$W_{3,m_2}$	),
$l_4$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	
$l_{12}$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	
$m_1$	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	

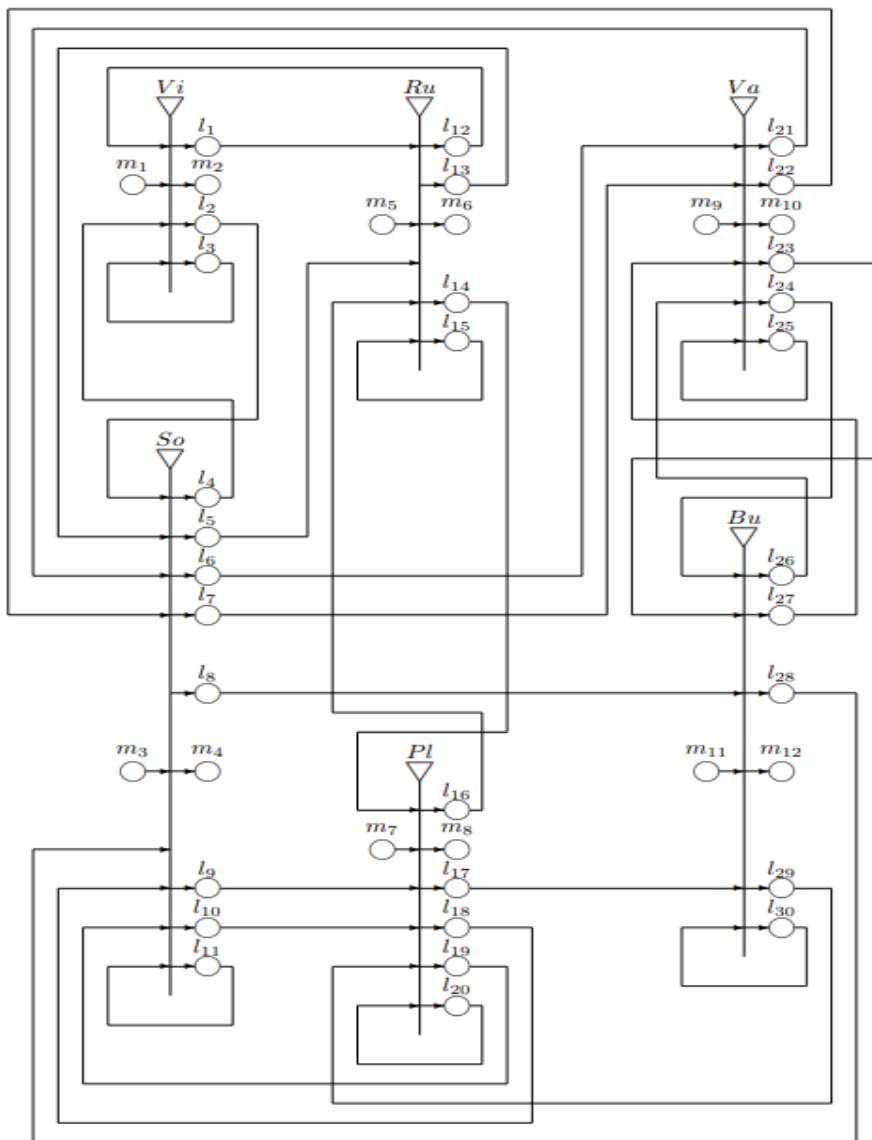
където:

$W_{3,1}$  = “речен кораб се насочва към Русе”,

$W_{3,2}$  = “влакът е насочен към София”,

$W_{3,3}$  = „транспортното средство (кораб или влак) трябва да махнира в пристанището на жп гара Видин”,

$W_{3,m^2}$  = „влакът е насочен към Калафат (Румъния)“.



Фиг. 6.1. Графично представяне на ОМ модела, на връзките между различните видове транспорт в България



## **Заклучение**

В настоящата дисертационна работа са описани подробни обобщеномрежови модели на цялата железопътна транспортна схема на България.

**В първа глава** сме дефинирали понятието „обобщена мрежа“ (ОМ) и сме посочили някои от основните им свойства, позовавайки се на наличните резултати от предишни изследвания а именно, Krassimir Atanassov, Evdokia Sotirova. “GENERALIZED NETS” Sofia · 2017. BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES.

Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences

**В втора глава за първи път** предлагаме дефиниции на четири разширения на ДОМ: Интуиционистки размита ДОМ от първи, втори, трети и четвърти вид - ИРДОМ1, ИРДОМ2, ИРДОМ3, ИРДОМ4, както и **извеждаме основната теорема за „Двупосочна Обобщена Мрежа“ ДОМ-** за което даваме и доказателства.

**В трета глава** сме изградили ДОМ-модел на железопътна гара Бургас, където ще отбележим, че настоящата ДОМ може да бъде разширявана в различни посоки. Например, можем да добавяме, или да премахваме преходи така, че да опишем или да моделираме всички преходи на конкретна гара.

**В четвърта глава** сме изградили подробни ОМ- модели на цялата железопътна транспортна схема на България, като в (4.1.) сме описали Обобщеномрежов модел на железопътната мрежа на България, в (4.2.) е описан ОМ- модел на ЖП мрежата в Западна България, в (4.3.) е описан ОМ- модел на ЖП мрежата в Северна Централна България, в (4.4.) е описан ОМ- модел на ЖП мрежата в Южна Централна България, в (4.5.) е описан ОМ- модел на ЖП мрежата в Източна България.

**В пета глава** сме представили ОМ-модели на основните железопътни мрежи в България и връзките ѝ със съседните държави, като в (5.1.) е описан ОМ-модел на железопътните мрежи, свързващи България със съседните държави.

**В шеста глава** е описан ОМ-модел на връзките между различните видове транспорт в България.

## Приноси

1. **За първи път се предлага** въвеждането на дефиниции за четири нови разширения на "Двупосочна обобщена мрежа".
2. **За всяко от четирите разширения се доказва**, че е консервативно разширение на стандартната обобщена мрежа, като са представени четири варианта, които демонстрират алгоритмите за функциониране на мрежата.
2. **Установяването на две теореми**, които показват, че "Функционирането и резултатите от работата на всяка Двупосочна обобщена мрежа могат да бъдат представени чрез стандартните Обобщени Мрежи".
3. С помощта на метода на Двупосочните обобщени мрежи е разработен **модел на железопътна гара Бургас**.
4. Създаден е пълен обобщеномрежов модел на **цялата железопътна мрежа на България**.
5. Изготвен е модел който показва **връзките между България и нейните съседни страни**.
6. Изработен е модел показващ връзките между **различните видове транспорт в България**.

## Изводи и препоръки

Дизайнът и развитието на транспортните мрежи са **физически ограничени**. Следователно използването на ОМ като инструмент за тяхното моделиране ще осигури необходимата им **пространствена и времева свобода**. Така разработените модели ни предлагат нови възможности за съществуващи транспортни схеми, като планиране, оперативни и симулационни цели, анализ в реално време на възникващи ситуации, както и управление на доставките или планиране и изграждане на транспортна инфраструктура на дадена

държава. Също така могат да се използват за намиране на **оптимални маршрути** и присвояване на потоци с **ограничения на капацитета в мрежата**.

При бъдеща програмна реализация на представените модели, ще може да се отчита движението на отделните влакове от гара до гара по разписание, престоят им на гарите, да се отчитат закъсненията на влаковете, да се симулират различни ситуации с цел оптимизирането на схемата, а също и да се **синхронизират разписанията между различните видове транспорт**.

Една от причините **Обобщените Мрежи** да се използват за моделиране е, че описанието на моделираната мрежа може да се използва като спецификация на мрежата, която разработваме, или като представяне на мрежата, която искаме да разберем или да представим. Процесът на създаване на системно описание и извършване на анализ обикновено осигурява значително по-добро разбиране на моделираната система. Много важна характеристика на Обобщените Мрежи е, че те имат **графично представяне**, което винаги е лесно за разбиране, дори и за тези, които не познават добре теорията. Следователно Обобщените Мрежи са много подходящи за моделиране на такива системи, тъй като мрежите на Петри първоначално са били замислени като инструмент за **анализиране на конкурентни системи**.

При създаването на модел на железопътна мрежа, трябва да се вземе предвид не само моделирането на движението на влаковете, но и набор от правила, които се появяват в системата за движение на влаковете, за да се осигури **безопасното им и сигурно движение**.

Мрежовите модели които сме изградили, могат да се използват за моделиране на системи, характеризиращи се с неточност и несигурност. Закъсненията на влаковете могат да се моделират интуитивно или чрез NN и ANFIS модели, като се използват статистически данни.

Разработената нова железопътна схема ще допринесе за координираното развитие на видовете транспорт, без да се фаворизира един или друг вид. Конкретните резултати, които се очакват са:

**Увеличаване на скоростта** и намаляване на времето за пътуване на пътници и товари по главните линии, както и привличане на допълнителен транзитен поток.

**Повишена конкурентоспособност** на транспорта. Намаляване на въглеродните емисии. Оптимизация и синхронизация на транспортната мрежа.

**Оценка в реално време** на качеството на обслужване на транспортните мрежи.

По-нататъшните изследвания могат да бъдат **насочени в няколко посоки** в зависимост от областта на приложение на предложените модели. Необходими са допълнителни изследвания относно прилагането и адаптирането на предложения модел при **многоагентно симулационно моделиране на сложни железопътни системи**. Такива модели биха могли да дадат добри резултати при симулация на пътнически и товарни потоци в мрежата и т.н. Като част от тези изследвания би било интересно да се работи върху **тестването и подобряването на приложението на модела за закъснение на влака**, но също така и върху модела (модула) за разрешаване на **конфликти на влакове** при симулация на движението на влакове.

Като област която е адаптирана за научна и изследователска употреба, теорията на Обобщените мрежи предлага възможност за широко приложение в **анализа и симулацията на сложни системи и процеси в трафика и транспорта**.

## Публикации по дисертационния труд

1. Boyukov, T., K. Atanassov. Generalized nets as a tool for modelling of railway networks. Part3. Proceedings of the Jangjeon Mathematical Society, Vol. 25 (2022), No. 2  
<https://www.jangjeonopen.or.kr/?fbclid=IwAR0xL4rJGyqBdDAneXG4CRVbHz8SMAw9VvisPvHyE0hf6cYXjy03soD06bM>
2. Тончо Боюков, Красимир Атанасов. Обобщеномрежов модел на железопътната мрежа на България. Годишник на секция „Информатика“ Съюз на учените в България. Том 11, 2021, 24-46 [http://old.usb-bg.org/Bg/CV\\_Informatika.htm](http://old.usb-bg.org/Bg/CV_Informatika.htm) [http://old.usb-bg.org/Bg/Annual\\_Informatics/2021/SUB-Informatics-2021-11-24-46.pdf](http://old.usb-bg.org/Bg/Annual_Informatics/2021/SUB-Informatics-2021-11-24-46.pdf)
3. Boyukov, T., Andonov, V., K. Atanassov. Generalized net model of the connections between different types of transport in Bulgaria. 2022 IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems (IS). 25 January 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10019720/metrics#metrics>
4. Тончо Боюков, Сотир Сотиров, Красимир Атанасов. Модел на жп гара Бургас чрез двупосочни обобщени мрежи. Годишник на секция „Информатика“ Съюз на учените в България. Том 12., (под печат).

## Благодарности

Изразявам благодарността си към научните ми ръководители, чл.кор. д-р д-н Красимир Тодоров Атанасов и проф. д-р Сотир Сотиров, за помощта и подкрепата им при разработването и оформянето на настоящата дисертационна работа. Техните насоки, съвети, конструктивна критика и търпение са от съществено значение и без тях този труд не би бил възможен.