



Обобщеномрежови модели
на градски транспорт

Иван Стефанов Вълков

АВТОРЕФЕРАТ

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:

1. Чл.кор. проф. дмн дтн Красимир Тодоров Атанасов
2. Проф. д-р Евдокия Николаева Сотирова

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на катедра “Компютърни системи и технологии”, проведено на 12.11.2018 г. в Университет “Проф. д-р Асен Златаров”-Бургас.

Дисертационният труд съдържа 114 страници, от които 16 фигури и 7 таблици. Използвани са 120 литературни източници. Резултатите са публикувани в 5 статии.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на __.__.2018 г. от __ч. в зала _____ в _____
пред научно жури в състав:

1. Доц. д-р Станислав Денчев Симеонов - председател
2. Проф. д-р Мария Петкова Христова
3. Проф. д-р Любка Атанасова Дуковска
4. Доц. д-р Георги Йорданов Глухчев
5. Чл.кор. проф. д-р д-р Красимир Годоров Атанасов

Резервни членове:

1. Доц. д-р Ирина Александровна Радева
2. Проф. д-р Сотир Николов Сотиров

Материалите по защитата са предоставени за заинтересованите в кабинет 321, Органичен корпус, Университет „Проф.д-р А.Златаров“, Бургас.

Автор: Иван Стефанов Вълков

Заглавие: Обобщеномрежови модели на градски транспорт

Изказвам искрената си благодарност на моите ръководители – Красимир Атанасов и Евдокия Сотирова, без чиито опит, знания, съвети и търпение не бих успял да завърша работата по дисертационния си труд в толкова кратки срокове.

Благодаря също за подкрепата на всички колеги от катедра „Компютърни системи и технологии“ в Университет „Проф. д-р Асен Златаров“. В частност, искам да изкажа специални благодарности на всички колеги, с които сме съавтори на част от публикациите, използвани в дисертацията.

Част от публикациите и проучванията, включени в дисертационния труд, са реализирани с подкрепата на проекти ДФНИ-И-02-05/2014 „Интеркритериален анализ – нов подход за вземане на решения“ и ДН 02/10 „Нови инструменти за извличане на знания от данни и тяхното моделиране“ към фонд „Научни изследвания“.

Характеристика на дисертационния труд

Общественият превоз на пътници е регламентиран в Закона за автомобилните превози, Закона за движение по пътищата, както и в съответната подзаконова нормативна база.

С Наредба №33 от 03.11.2018 г. за обществен превоз на пътници и товари на територията на Република България се определят условията и реда за издаване на лиценз за извършване на обществен превоз, за извършване специализирани и случайни превози на територията на Република България, както и изискванията към автогарите, и реда за работа с тях.

Общественият превоз на пътници се извършва по утвърдени транспортни схеми, утвърждени съгласно Наредба №2 от 15.03.2002 г. В нея са залегнали условията и реда за утвърждаване на транспортни схеми и осъществяване на обществени превози на пътници с автобуси.

Обществените превози на пътници се извършва от автобуси и леки автомобили от 6 до 9 места, включително мястото на водача, които трябва да отговарят на изисквания за транспортна годност със срок на годност.

Дисертационният труд е насочен към моделиране на процесите, протичащи в транспортната мрежа.

В литературата се срещат множество изследвания, свързани с моделирането на транспорта, но във всеки от тези случаи се използват стандартни математически средства – статистика, вероятности, регресионен и корелационен анализи и други. На база на такива транспортни модели са правени редица анализи и прогнозирания, планове за транспортната мрежа, трафика и т.н.

В настоящия дисертационен труд за моделирането на процеси в градската транспортната мрежа за първи път се прилага апарата на обобщените мрежи (ОМ) в качеството си на инструмент за коректно и пълно описание на паралелно протичащи във времето процеси.

Предложените обобщеноомрежови модели позволяват пълното и точно разбиране на моделираните процеси, а оттам и минимизиране на времената за изчакване или вземане на решения.

Програмната реализация и симулацията на направените модели може да отговори на вече поставени въпроси или да доведе до формулирането на нови, както и да подпомага процеса на планиране.

Симулирането на създадените модели с реални експериментални данни позволява да се направят оценки на състоянието, прогнози за критични моменти или ситуации, да се планира разпределението на ресурсите и материална база.

Апробация на резултатите

Апробацията на резултатите е осъществена в рамките на представяния на доклади на две международни конференции на IEEE, в статии в научни списания и тематични сборници. Резултатите се явяват постижения и на долуизброените научни проекти, в колектива на първия от които авторът е член:

- Общонаучен грант „Моделиране на системи мобилни приложения с интелигентни инструменти за управление”
- ДФНИ-И-02-05/2014 „Интеркритериален анализ – нов подход за вземане на решения”, фонд „Научни изследвания“;
- ДН 02/10 „Нови инструменти за извличане на знания от данни и тяхното моделиране“, фонд „Научни изследвания“.

Съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд съдържа 114 страници и съдържа увод, шест глави, получени резултати, изводи и насоки за бъдеща работа, декларация за оригиналност и библиография. В него са включени 16 фигури и 7 таблици, като в библиографията са цитирани 120 източника.

Списък на публикациите по дисертационния труд

- 1*. Valkov, I., Kr. Atanassov, L. Doukovska, Generalized Nets as a Tool for Modelling of the Urban Bus Transport, International Conference on Flexible Query Answering Systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10333, 2017, 276-286, (SJR=0.315).
- 2*. Valkov, I., D. Mavrov, E. Sotirova, Intercriteria Analysis over Public Transport System Data, 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, 560-563.
- 3*. Вълков, И., Кр. Атанасов, Обобщеномрежов модел за изследване на градския транспорт, Годишник на секция „Информатика“, Съюз на учените в България, Том 8, 2015/2016, 79-96.
- 4*. Valkov, I., V. Atanassova, E. Sotirova, Kr. Atanassov, Generalized Net model of the connection of the urban and interurban transport via example from the city of Burgas, Advances in Neural Networks and Applications 2018 (ANNA'18), September 15-17, 2018, St. St. Konstantin and Elena Resort, Bulgaria, (под печат)
- 5*. Вълков, И., Кр. Атанасов, Обобщеномрежов модел за изследване на градския транспорт, Нова транспортна схема, Годишник на секция „Информатика“, Съюз на учените в България, Том 9, 2017/2018, (под печат).

Цел и задачи на дисертационния труд

Основната цел на изследванията, представени в настоящия материал е приложение на теорията на обобщените мрежи за моделиране и мониторинг на процесите в градския транспорт. Обект на изследването е интегрирания градски транспорт в гр. Бургас.

За постигане на поставената цел се формулират следните задачи:

1. Разработване на обобщеномрежови модели, отразяващи автобусните линии в град Бургас (транспортна схема към края на 2015 г.):

1.1. Общ ОМ модел на градската автобусна транспортна мрежа в гр. Бургас;

1.2. Обобщеномрежови модели, отразяващи автобусните линии, съответстващи на четирите основни зони на гр. Бургас;

2. Разработване на обобщеномрежови модели, отразяващи текущата интегрирана градска транспортна мрежа на четирите основни зони на гр. Бургас (2017 г.);

3. Разработване на обобщеномрежови модел на връзките между градския и междуградския транспорт за гр. Бургас

4. Прилагане на техники за анализ на статистически данни за пътниците, ползвали обществен транспорт в гр. Бургас.

Глава първа. Представяне на транспортната схема на град Бургас

В първа глава са дадени основни характеристики на Общинската транспортна схема на Община Бургас.

Глава 2. Въведение в теорията на обобщените мрежи и интеркритериалния анализ

Представени са определенията и някои допълнителни сведения за използваните в следващите глави теоретични апарати.

2.1. Въведение в теорията на обобщените мрежи

Тук са дадени кратки исторически бележки за появата и развитието на ОМ, основните дефиниции, свързани с тях, и алгоритмите за движение на ядрата в тях.

2.2. Въведение в теорията на интуиционистки размитите множества, индексиранияте матрици и интеркритериалния анализ

Тук дадени основни дефиниции за интуиционистки размитите множества и индексиранияте матрици, и е представен методът на интеркритериалния анализ.

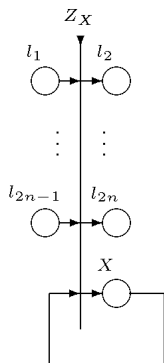
Глава 3. Обобщеномрежово моделиране на градския транспорт в Бургас (транспортна схема към 2015 г.)

Проучването в трета глава включва преглед и анализ на съществуващите към края на 2015 г. график и потребности на действащата транспортна схема в гр. Бургас. Предложени са пет обобщеномрежови модели. Първият ОМ модел представя градската автобусна транспортна мрежа в Бургас. В него са описани само най-важните автобусни спирки.

Следващите четири обобщеномрежови модели, отразяващи автобусните линии в град Бургас включват основни приложения, характеристики и цели на интегрирания градски транспорт на града и се явяват като примерна методика и модели за решения, които могат да се използват като пример при подготовката на подобни проекти за повишаване ефективността на градския обществен транспорт и в други градове.

3.1. Общ обобщеномрежови модел на компоненти на градския транспорт

Имайки предвид, че градската автобусна транспортна мрежа на всеки град има формата на неориентиран граф, можем да я представим с апарата на обобщените мрежи. Всяка автобусна спирка е представена чрез преход (Фиг.1).



Фиг. 1

Автобусната спирка X има директна връзка с n други спирки и нека те са означени с Y_1, \dots, Y_n . Позициите l_{2i-1} и l_{2i} съответстват на автобусните линии от и до спирката Y за $i = 1, 2, \dots, n$. Индексиранията матрица на прехода има вида:

| | l_2 | l_2 | ... | l_{2n} | X |
|------------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|
| l_1 | false | false | ... | false | true |
| l_3 | false | false | ... | false | true |
| \vdots | \vdots | \vdots | \ddots | \vdots | \vdots |
| l_{2n-1} | false | false | ... | false | true |
| X | $W_{X,2}$ | $W_{X,4}$ | ... | $W_{X,2n}$ | $W_{X,X}$ |

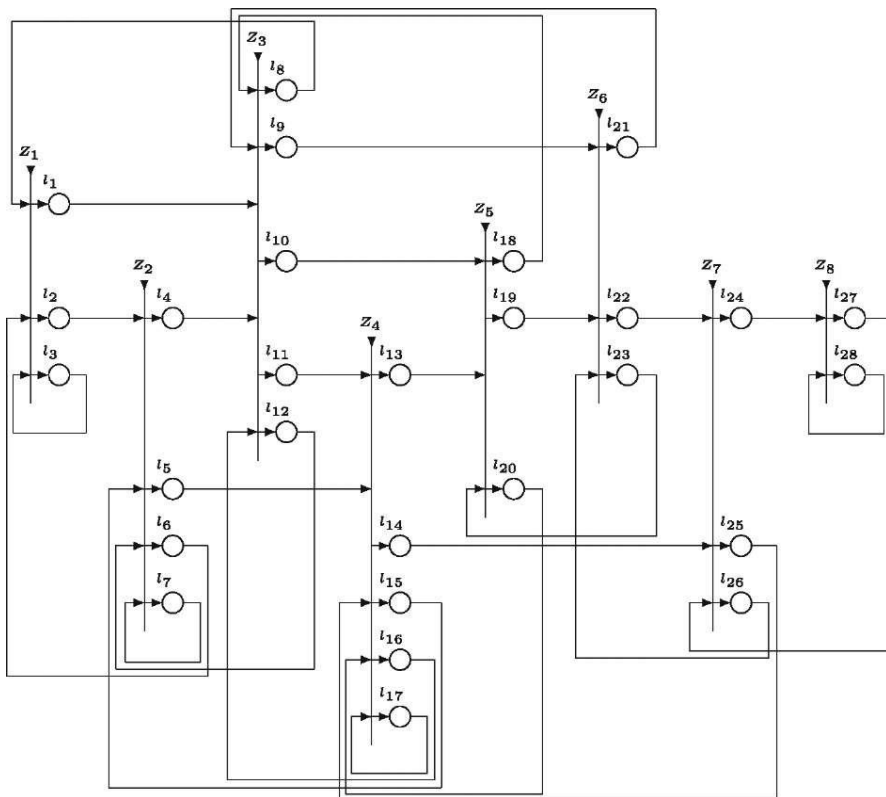
където

$W_{X,2}$ = “автобусът ще се движи към спирка Y_1 ”,

$W_{X,4}$ = “автобусът ще се движи към спирка Y_2 ”, ...,

$W_{X,2n}$ = “автобусът ще се движи към спирка Y_n ”,

$W_{X,X}$ = “автобусът трябва да остане на спирка X ”.



Фиг. 2 Общ ОМ модел на градската автобусна транспортна мрежа в гр.Бургас

Предложеният ОМ модел на градската автобусна транспортна мрежа в Бургас, включващ само най-важните автобусни спирки съдържа 8 прехода и 28 позиции (Фиг. 2). Всяка автобусна спирка е представена чрез преход, позициите съответстват на автобусните линии, а ядрата представят различните автобуси, които се придвижват от една автобусна спирка до друга.

Всяко ядро (представящо конкретен автобус), което постъпва в дадена позиция, получава като текуща характеристика информация за времето за изпълнение на предишното си действие и броя на пътниците, които напускат или се качват в съответния автобус. Входно-изходните позиции на прехода представят началните или крайните автобусни спирки (депа). Първоначално, ядрата получават като начална характеристика броя на автобусните линии, списък на автобусните спирки, през които автобусът трябва да премине и друга необходима информация.

В ОМ модел от Фиг. 2 е представена малка, но важна част от автобусните спирки в град Бургас. Някои от тези автобусни спирки са начални или крайни (представени от преходите Z_1 , Z_8 и позициите им l_3 , l_{28} , съответно), някои от тях са междинни (представени от преходи Z_3 , Z_5 , Z_6 , Z_7), а някои от тях са едновременно както начални/крайни, така и междинни автобусни спирки (представени чрез преходи Z_2 , Z_4 и им l_7 , l_{77} съответно). В модела не се разглеждат всички междинни автобусни спирки между дадената, до/от която няма линии от/в други посоки.

3.2. Обобщеномрежови модели на основните транспортни зони

След обработване на информацията за линиите на градския обществен транспорт ежедневно през 2015 г. се забелязват определени зависимости между някои линии. Основните групи пътници, които се определят са:

- пътници от жилищните комплекси Изгрев и Славейков, пътуващи към Северна промишлена зона и обратно.
- пътници от жилищните комплекси Изгрев, Славейков и Меден Рудник, пътуващи към Северна и Южна промишлени зони по основния транспортен коридор север-юг на града.
- работници от кварталите Лозово, Долно Езерово и ж.к. Меден Рудник, работещи в промишлените зони.

При тези групи става преливане на пътници, с прекачване от една на друга линия.

За изследванията е използвана информация за интегрирания градски транспорт и данните за пътниците ползващи обществен транспорт в гр. Бургас от следните източници:

- Основен доклад от предпроектни проучвания на Проект за интегриран градски транспорт на гр. Бургас (ноември 2010 г.);

- Статистически данни за пътниците, ползвали обществен транспорт в гр. Бургас на Общинска фирма по транспорт – Бургасбус ЕООД за 2015 г.

Поради своята значителна големина и сложност ОМ моделът е разделен на четири части, съответстващи на четирите основни зони на гр. Бургас – северна (нейните преходи и позиции ще бъдат означени, съответно, с N и n), западна (W и w), централна (C и c) и южна (E и e). Преходите на ОМ модели (общо 44) съответстват на отделните автобусни спирки, а позициите и дъгите - на автобусните линии, свързващи тези спирки.

В ОМ са включени само такива спирки, които са начални/крайни или са междинни, но през тях преминават автобуси от различни посоки. Тези преходите съответстват на следните спирки.

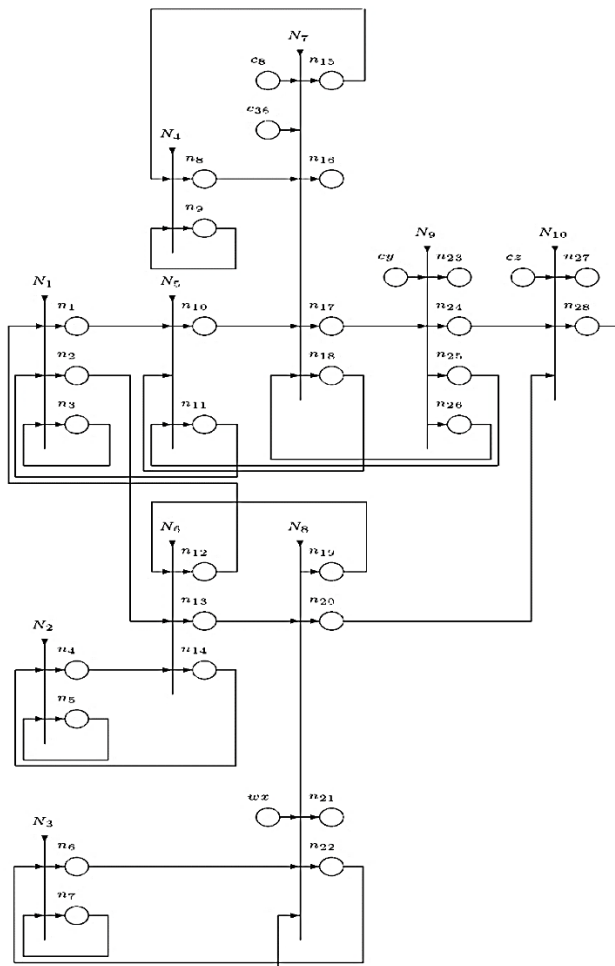
| | | | |
|----------|------------------------------|----------|--|
| N_1 | Автостанция к-с Изгрев | C_1 | сп. МБАЛ |
| N_2 | кв. Сарафово | C_2 | сп. Бл. 104 |
| N_3 | кв. Банево | C_3 | сп. Механотехникум |
| N_4 | кв. Рудник | C_4 | сп. БСУ |
| N_5 | супермаркет Изгрев | C_5 | сп. Христо Ботев |
| N_6 | МОЛ Плаза | C_6 | сп. Бл. 1 |
| N_7 | сп. надлез Никола Петков | C_7 | сп. ЖП Фондови жилища |
| N_8 | сп. 2 РПУ | C_8 | сп. Централна поща/ Областна управа |
| N_9 | сп. Пикадили | C_9 | сп. Иван Вазов |
| N_{10} | сп. Зала Младост | C_{10} | Автогара Юг/ сп. Централна ЖП гара |
| W_1 | сп. ВХТИ | E_1 | сп. Стадион Черноморец |
| W_2 | кв. Лозово | E_2 | сп. Кораборемонтен завод |
| W_3 | кв. Долно Езерово | E_3 | кв. Горно Езерово |
| W_4 | сп. Блок 37 | E_4 | сп. Победа |
| W_5 | сп. Кроношпан | E_5 | кв. Краймorie |
| W_6 | Автостанция к-с Славейков | E_6 | сп. Бриколаж |
| W_7 | сп. Пиргос плод | E_7 | сп. Капче |
| W_8 | сп. Товарна гара | E_8 | сп. Бл. 415 |
| W_9 | сп. Елкабел | E_9 | сп. Бл. 410 |
| W_{10} | сп. Трапезица | E_{10} | мс Върли бряг |
| W_{11} | Автостанция Запад | E_{11} | Автостанция к-с Меден рудник |

Автобусните спирки до които пристигат автобуси само от една предишна спирка и автобусите от които отиват само до една следваща спирка са пропуснати от модела.

Позициите, които са свързващи за два прехода от две различни части на града имат идентични означения. Затова в моделите, съответстващи на четирите зони има позиции от други зони, указващи връзката с преходите от другите модели.

3.2.1. Обобщеномрежови модел на Северната зона

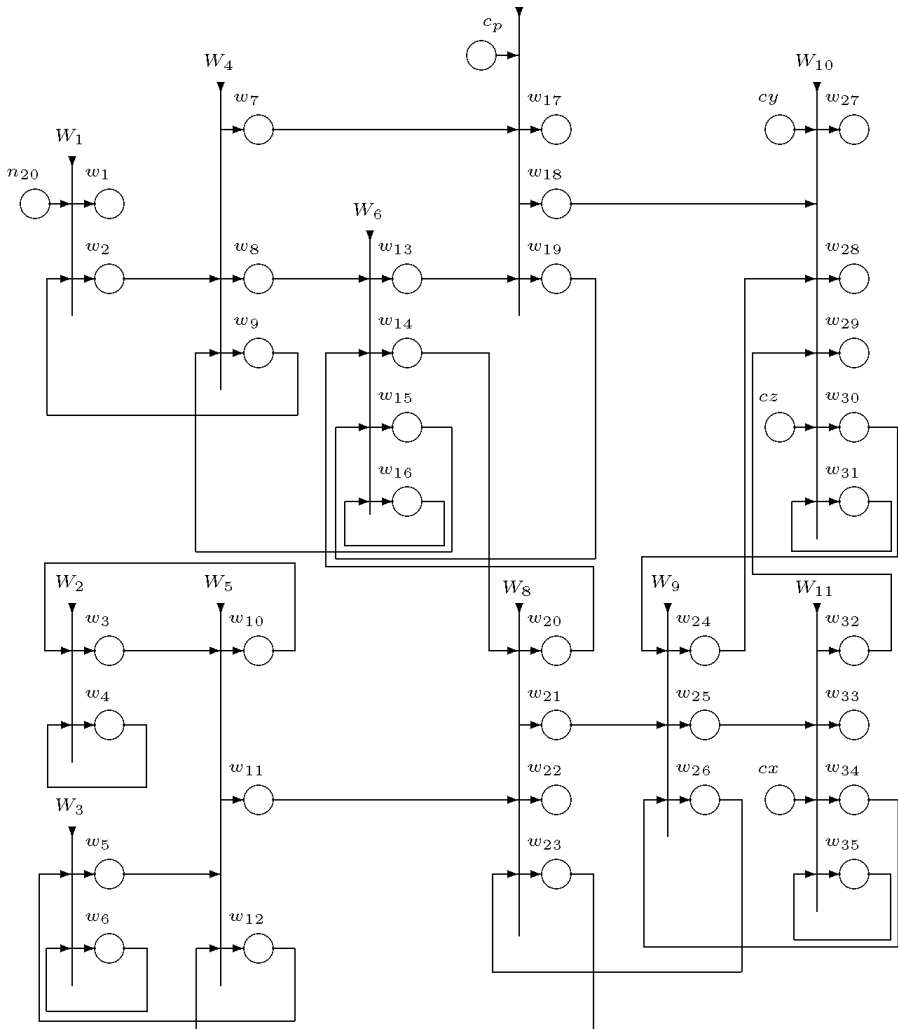
ОМ модел е представен на Фиг. 3.



Фиг. 3 Обобщеномрежови модел на Северната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2015 г.

3.2.2. Обобщеномрежови модел на Западната зона

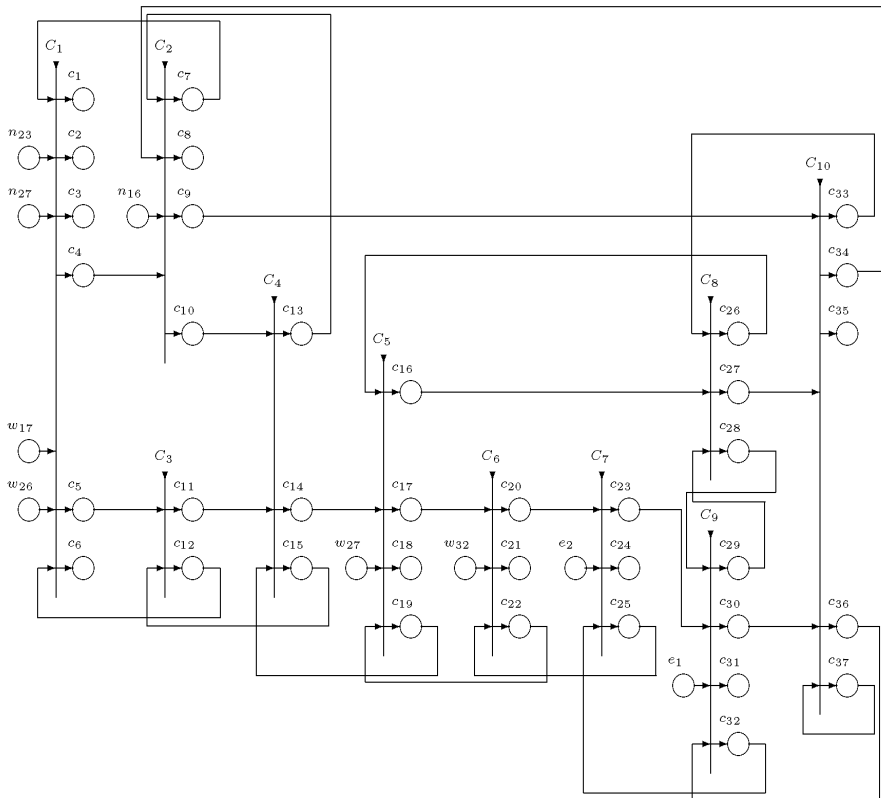
ОМ модел на Западната зона е представен на Фиг. 4.



Фиг. 4 Обобщеномрежови модел на Западната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2015 г.

3.2.3. Обобщеномрежови модел на Централната зона

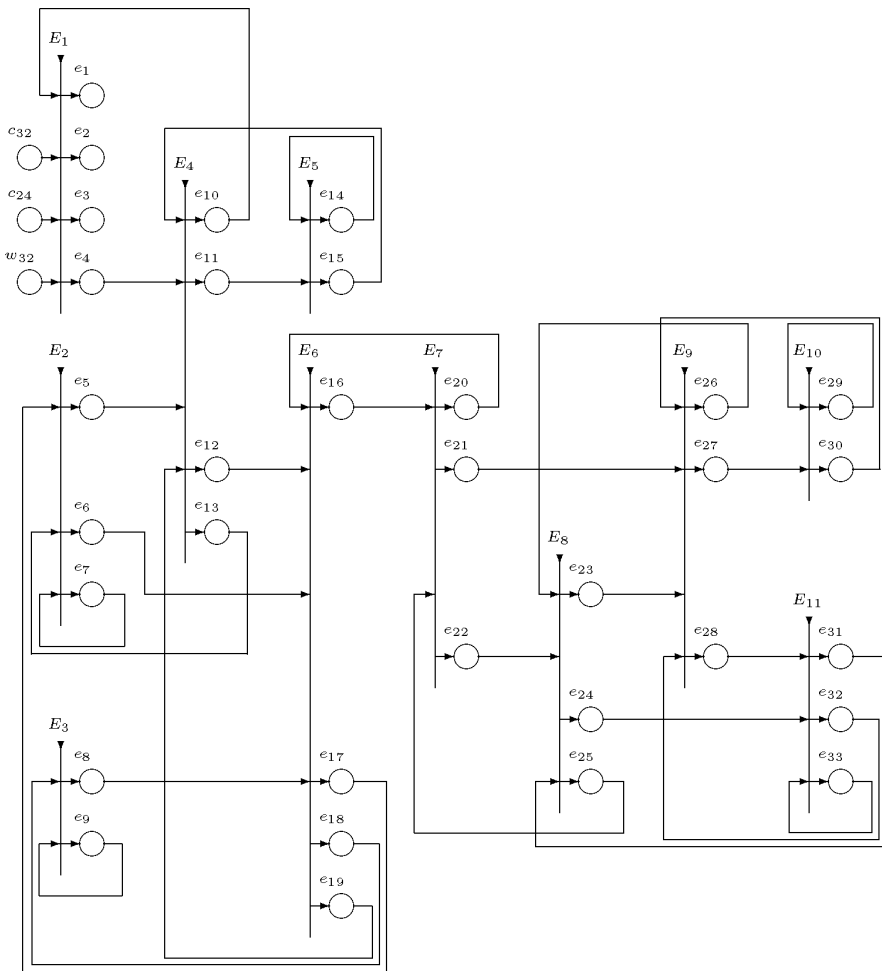
ОМ модел е представен на Фиг. 5.



Фиг. 5 Обобщеномрежови модел на Централната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2015 г.

3.2.4. Обобщеномрежови модел на Южната зона

ОМ модел е представен на Фиг. 6.



Фиг. 6 Обобщеномрежови модел на Южната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2015 г.

3.5. Изводи

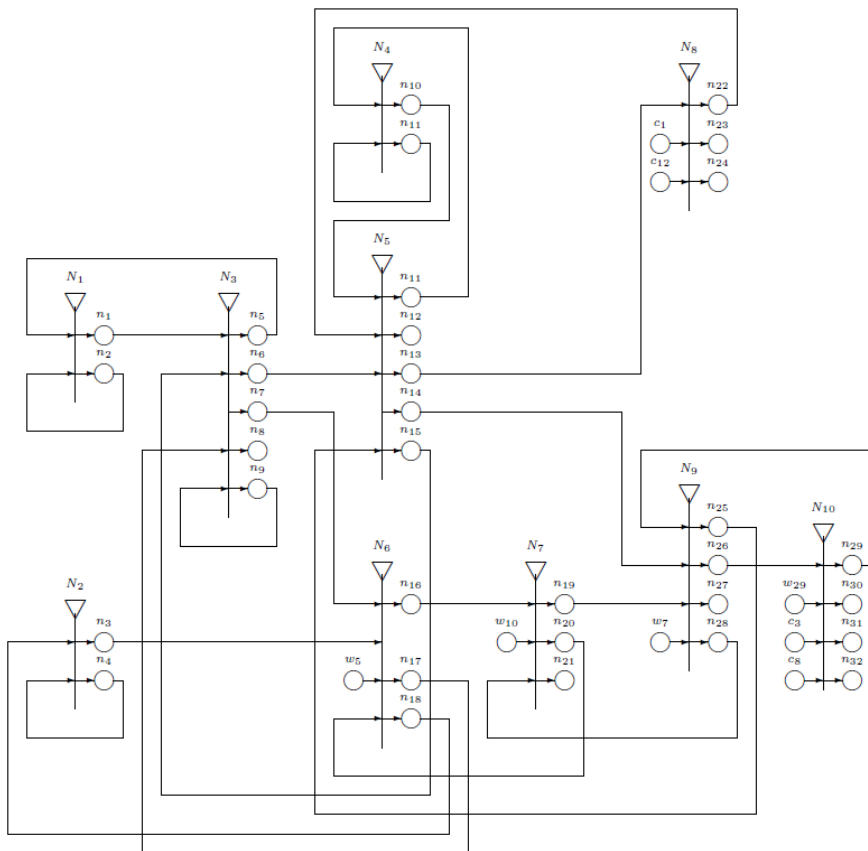
Чрез анализа на обработената информация за пътниците, ползващи обществен градски транспорт е възможно тези линии, които се дублират и имат общи допирни точки да бъдат коригирани и оптимизирани. Това ще доведе до редукция на автобусните линии. Така съответната транспортна схема да стане по-рационална и ефективна.

Глава четвърта. Обобщеномрежови модели на градския транспорт в Бургас (нова транспортна схема)

Проучването тук включва преглед и анализ на съществуващите към края на 2017 г. график и потребности на транспортната схема на гр. Бургас. Аналогично на изследванията в предходната глава поради своята значителна големина и сложност, ОМ моделът е разделен на четири части, съответстващи на четирите основни зони на гр. Бургас – северна (нейните преходи и позиции ще бъдат означени, съответно, с N и n), западна (W и w), централна (C и c) и южна (E и e).

4.1. Обобщеномрежови модел на Северната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

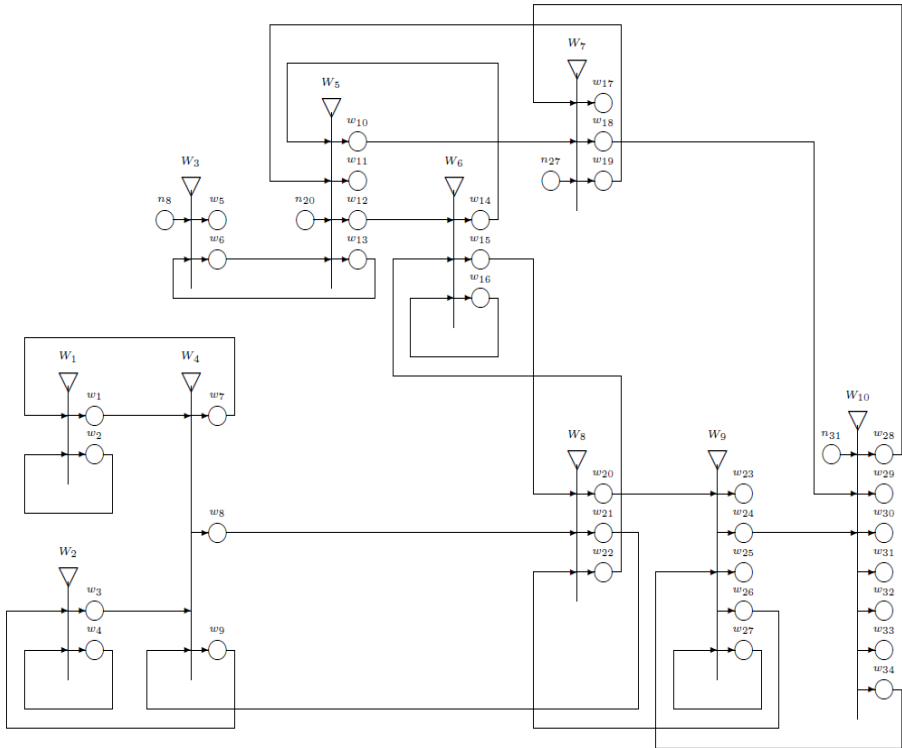
ОМ модел на Северната зона на гр. Бургас е представен на Фиг. 7.



Фиг. 7 Обобщеномрежови модел на Северната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

4.2. Обобщеномрежови модел на Западната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

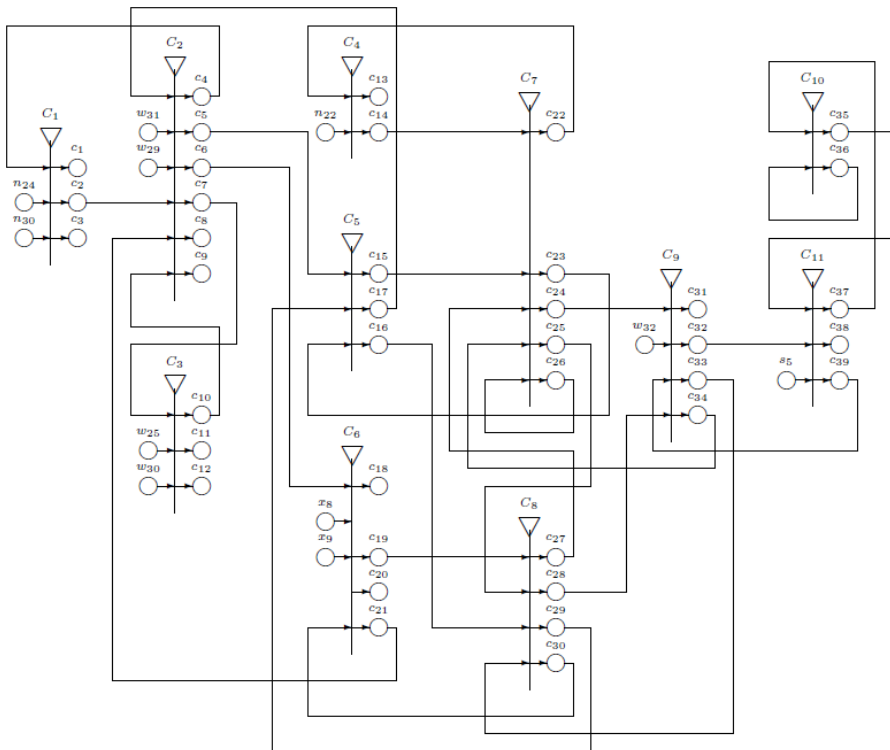
ОМ модел на Западната зона на гр. Бургас е представен на Фиг. 8.



Фиг. 8 Обобщеномрежови модел на Западната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

4.3. Обобщеномрежови модел на Централната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

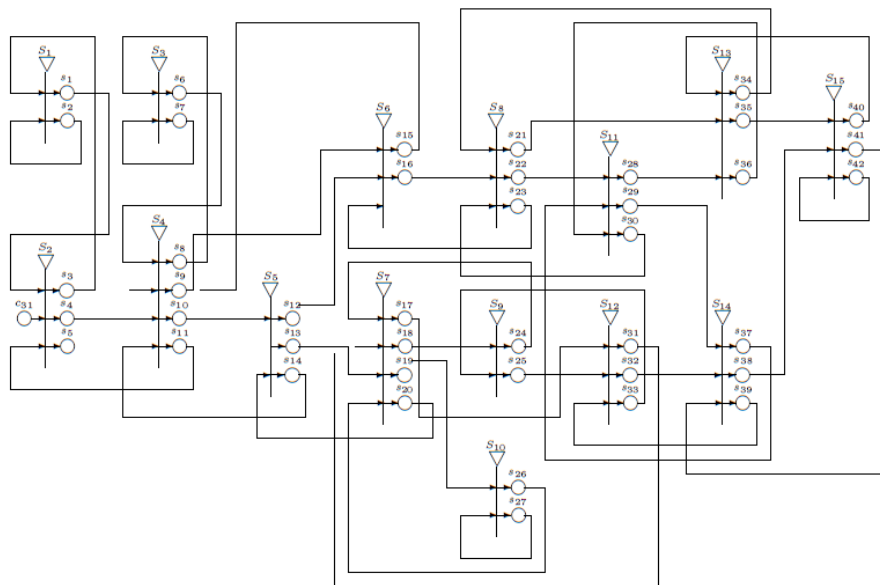
ОМ модел на Централната зона на гр. Бургас е представен на Фиг. 9.



Фиг. 9 Обобщеномрежови модел на Централната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

4.4. Обобщеномрежови модел на Южната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

ОМ модел на Южната зона на гр. Бургас е представен на Фиг. 10.



Фиг. 10 ОМ модел на Южната зона на гр. Бургас, транспортна схема 2017 г.

4.5. Изводи

Представените в тази глава обобщеномрежови модели дават възможност за детайлно моделиране на реалните процеси протичащи по време на движението на автобусите по отделните линии, така че да могат да се изследват най-общите им свойства и характеристики. Те могат да се използват за симулиране на различни ситуации, които могат да възникнат между автобусите в реално време. В резултат на това може да се подобри организацията на автобусната градска мрежа, например да се запази или да се промени графика на конкретен автобус/и.

Чрез подобряване на дейността на интегрирания градски транспорт ще се постигнат следните ефекти:

- повишаване на атрактивността на общественя транспорт чрез подобряване на предлаганите условия;
- подкрепа на метрополисните функции на града за подобряване безопасността на придвижване;
- намаляване на задръстванията по улиците и булевардите на града;

- повишаване на капацитета на системата за обществен транспорт;
- подобряване на екологичната ситуация, посредством намаляване на вредните емисии с въвеждане на оптимизация на тролейбусните и автобусни линии.

За постигане на по-рационален и висококачествен обществен транспорт сме анализирали градските линии и главния транспортен коридор на гр. Бургас в посока север-юг. Общата автобусна мрежа се състои от 19 автобусни линии, като в това число са включени и 2 тролейбусни линии.

Глава пета. Обобщеномрежови модели на връзките между градския и междуградския транспорт за гр. Бургас

Разработеният в пета глава модел се отнася до транспортните връзки на град Бургас с останалите населени места в областта, както и други български градове. Комуникациите се извършват в съответствие с одобрените транспортни схеми, които са категоризирани като общински, областни и национални.

Основните компоненти в тези транспортни схеми са:

- Схеми на маршрута директно преди и след изпълнението на една и съща линия или друга линия, което дава възможност за връзка към съответната линия;
- Предложение за схема на маршрут;
- Пътнически поток от първата автобусна спирка на територията на общината, която предлага новата линия;
- Схема за маршрут - за нови линии.

В тази глава правим опит за по-сериозен анализ и координация между националните, областните и общинските транспортни схеми. Чрез разработеният тук обобщеномрежови модел може да се помогне решаването на проблеми, свързани с оптимизирането и да се предложат начини за синхронизиране на транспортните схеми.

Резултатите тук са продължение за изследванията в глави трета и четвърта, в които са описани моделите на градския транспорт на Бургас.

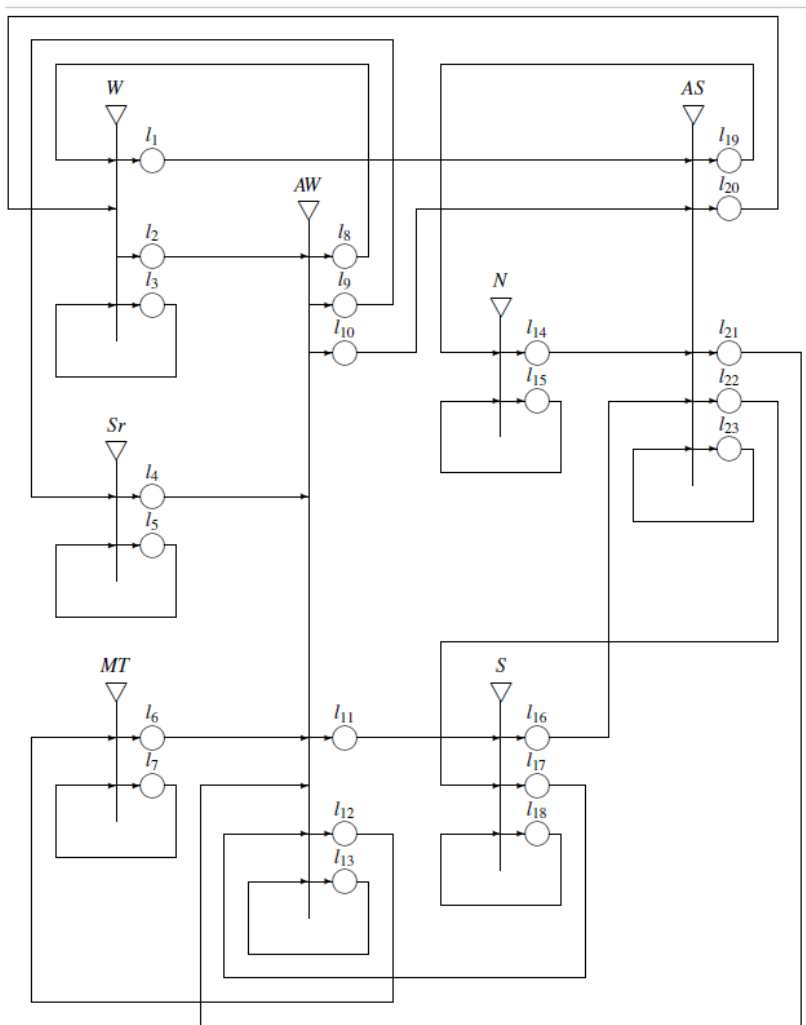
5.1. Обобщеномрежови модел

Обобщеномрежовият модел съдържа 7 прехода, 23 позиции и 6 типа ядра (Фиг. 11).

Преходите представляват дейностите в автогарите, както следва:

- AS - автогара "Юг",
- AW - автогара "Запад",
- MT - направление Малко Търново,

- *N* - направление северна посока (Варна, Несебър, Поморие и др.),
- *Sr* - направление Средец,
- *S* - направление южна посока (Ахтопол, Царево, Созопол и др.),
- W* - направление западна посока (София, Пловдив, Стара Загора и др.).



Фиг. 11. Обобщеномрежови модели на връзките между градския и междуградския транспорт за гр. Бургас

Автобусите в обобщената мрежа са представени чрез следните ядра:

- γ -ядра - автобуси на градския транспорт,
- μ - ядра - автобуси до / от Малко Търново,
- ν - ядра - автобуси до / от Северна посока (Варна, Несебър, Поморие и др.),
- ρ - ядра - автобуси до / от Средец,
- σ - ядра - автобуси до / от Южна посока (Ахтопол, Царево, Созопол и др.),
- ω - ядра - автобуси до / от Запад (София, Пловдив, Стара Загора и др.).

Всяко ядро има начална характеристика

“ID-номер на автобуса, посока, и т.н.”.

5.2. Изводи

Чрез проследяване на пътничкопотока могат да се направят изводи за натоварването на автобусните линии, необходимостта от различен брой автобуси и честотата им за съответните маршрути.

Представеният в тази глава обобщеномрежови модел може да се използва за оптимизиране на междуградския транспорт, координирането на общинската транспортна схема на Бургас и евентуално с маршрутите на железопътния транспорт. По този начин транспортните схеми ще бъдат потенциално освободени от конфликтни точки.

Извършените корекции ще бъдат от полза както за доставчиците на транспортни услуги, така и за пътниците. Ще бъде постигнат по-ефективен транспортен модел.

Оптимизирането на броя на автобусите, обслужващи съответните автобусни линии, ще допринесе за намаляване на емисиите на отработените газове от замърсителите на автобусите. Това ще подобри екологичното положение на Бургас, което е от решаващо значение за здравето на жителите му.

Конструираният тук обобщеномрежови модел може да бъде използван за всички български градове и така да се подобрят на транспортните им схеми.

Глава шеста. Приложение на метода за интеркритериален анализ върху данни, получени от системата на обществения транспорт в гр. Бургас

В шеста глава са анализирани вътрешните градски линии и главния транспортен коридор Бургас от север на юг.

Основната автобусна мрежа, обект на изследването се състои от 15 автобусни линии, включващи и 2 тролейбусни линии. С цел да се постигне по-рационална и по-висококачествена система за обществен транспорт е приложен метод за многокритериален анализ, известен като Интеркритериален анализ (ИКА, InterCriteria Analysis, ICA).

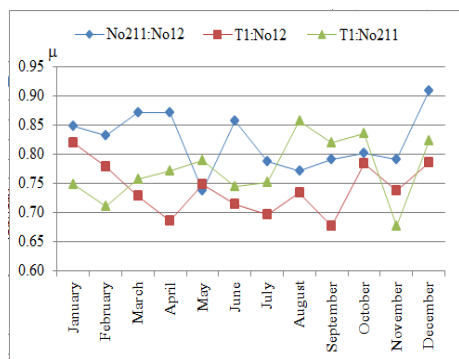
6.1. Прилагане на метода на интеркритериалния анализ

За целта на изследването тук са анализирани данните за пътничкото пътуване във вътрешните градски линии в гр. Бургас по месеци за 2015 г. за линии 12, 211, T1, T2, 121, 4, 15, 30, 7, 17, 25, 13, 101, 8, 61.

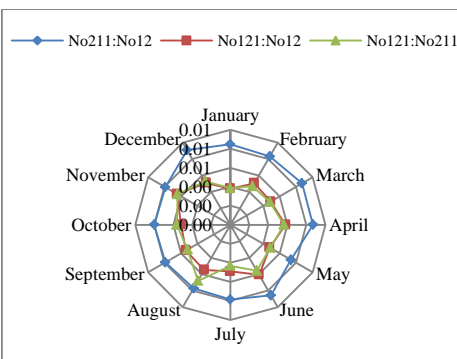
6.1.1. Прилагане на метода на интеркритериалния анализ за данните за пътничкото пътуване за градските линии по месеци

Данните за пътничкото пътуване за всеки месец се анализират отделно с първоначалното изпълнение на ИКА, използвайки сравнението на двойките реални числа. Получените интуиционистки размити двойки оценяват корелацията между всеки два критерия (линии от градския транспорт) за всеки месец.

Получените резултати позволяват *анализ на поведението на корелациите в течение на времето.*



Фиг. 12. Двойки автобусни линии 211-12, T1-12, T1-211 през месеците



Фиг. 13. Двойки автобусни линии 211-12, 121-12 и 121-211 през месеците

На Фиг.12 са показани поведението на първите три двойки автобусни линии през месеците (No211: No12, T1: No12, T1: No211). На Фиг.13 е представено поведението на двойките автобусни линии No211: No12, No121: No12 и No121: No211 през месеците.

6.1.2. Прилагане на метода на интеркритериалния анализ за двойките градски линии

Тук получените интуиционистки размити двойки за всяка двойка автобусни/тролейбусни линии се използват като вход, третирайки всеки месец като обект.

Тестовата матрица, която съдържа μ -стойностите на интуиционистки размитите двойки, е представена в следващата таблица са представени μ -стойностите на интуиционистки размитите двойки на автобусните/тролейбусните линии.

| μ | 121-12 | 121-211 | 121-T1 | 121-T2 | 4-12 | 4-211 | 4-T1 | 4-T2 | 4-121 |
|---------|--------|---------|--------|--------|------|-------|------|------|-------|
| 121-12 | 1.00 | 0.79 | 0.73 | 0.68 | 0.39 | 0.45 | 0.45 | 0.52 | 0.74 |
| 121-211 | 0.79 | 1.00 | 0.88 | 0.68 | 0.45 | 0.52 | 0.55 | 0.55 | 0.70 |
| 121-T1 | 0.73 | 0.88 | 1.00 | 0.59 | 0.52 | 0.48 | 0.52 | 0.58 | 0.70 |
| 121-T2 | 0.68 | 0.68 | 0.59 | 1.00 | 0.53 | 0.52 | 0.50 | 0.58 | 0.64 |
| 4-12 | 0.39 | 0.45 | 0.52 | 0.53 | 1.00 | 0.76 | 0.71 | 0.82 | 0.39 |
| 4-211 | 0.45 | 0.52 | 0.48 | 0.52 | 0.76 | 1.00 | 0.79 | 0.76 | 0.44 |
| 4-T1 | 0.45 | 0.55 | 0.52 | 0.50 | 0.71 | 0.79 | 1.00 | 0.67 | 0.44 |
| 4-T2 | 0.52 | 0.55 | 0.58 | 0.58 | 0.82 | 0.76 | 0.67 | 1.00 | 0.50 |
| 4-121 | 0.74 | 0.70 | 0.70 | 0.64 | 0.39 | 0.44 | 0.44 | 0.50 | 1.00 |

По този начин оценяваме *корелациите на всяка двойка линии с всяка друга двойка линии, включително със себе си.*

След прилагането на метода на интеркритериалния анализ към данните за ежедневния пътничопоток в системата за обществен транспорт в гр. Бургас за 2015 г. могат да се открият зависимостите между двойки линии.

6.2. Изводи

1. Двойките препокриващи се линии с други линии показват висока зависимост една от друга. Това предполага оптимизиране на трафика чрез въвеждане на комбинирани линии. По този начин схемата за обществен транспорт може да бъде рационализирана и по-ефективна.

2. Анализът на линиите 101 и 121 показва необходимостта от една обща автобусна линия, към която други линии могат да "залепнат" по оста на север-юг на града.

Ако тези две препоръки бъдат изпълнени, градската система за обществен транспорт би могла да се оптимизирана значително чрез намаляване на излишните линии и необходимостта от смяна на автобусите, което би донесло икономически ползи, като например:

- спестено време;
- по-голяма ефективност на услугата;
- по-малки оперативни разходи за автобусите;
- по-малко вредни газови емисии;
- по-добро качество на услугата;
- намален риск от пътнотранспортни произшествия.

Това изследване използва информация за интегрираната система за обществен транспорт и данни за пътническия трафик в обществения транспорт от следните източници:

- Основен доклад за предварителния проект за проверка на проекта за интегриран обществен транспорт на град Бургас (ноември 2010 г.);
- Статистически данни за пътниците, ползващи обществения транспорт в Бургас, предоставени от общинската фирма БургасБус за 2015 г.

Получени резултати, изводи и насоки за бъдеща работа

Изграждането на обобщеномрежови модели на различните процеси в градския транспорт е ефективен начин за тяхното визуализиране, анализиране и оптимизиране.

Въпреки, че обект на изследването в дисертационния труд бе гр. Бургас, в качеството си на първия български град с реализиран интегриран градски транспорт, може да се твърди, че представените тук модели могат да се използват като методика при подготовката на подобни проекти и в други градове.

Те могат да спомогнат за повишаване ефективността на градския обществен транспорт.

Приносителите в настоящия дисертационен труд са научно-приложни и приложни.

1. Предложен е общ обобщеномрежови модел на градската автобусна транспортна мрежа в гр. Бургас;
2. Предложени са обобщеномрежови модели, отразяващи автобусните линии на четирите основни транспортни зони на гр. Бургас

– северна, западна, централна и южна, съгласно транспортната схема към края на 2015 г.:

3. Предложени са обобщеномрежови модели, отразяващи текущата интегрирана градска транспортна мрежа на четирите основни транспортни зони на гр. Бургас – северна, западна, централна и южна, съгласно транспортната схема към края на 2017 г.;

4. Предложен е универсален обобщеномрежови модел на връзките между градския и междуградския транспорт с пример гр. Бургас, който е приложим са останалите градове в страната;

5. Приложен е методът за интеркритериалния анализ за изследване статистически данни за пътниците, ползвали обществен транспорт в гр. Бургас.

При изготвянето на дисертационния труд се появиха редица идеи за **бъдещи изследвания**:

1. Изследване на възможности за подобряването на интегрираната система за обществен транспорт чрез анализ на конструираните обобщеномрежови модели;
2. Прилагане на метода на интеркритериалния анализ за изследване на поведението на моделираните процеси във времето;
3. Прилагане на техники за извличане на знания, подходящи за моделираните процеси, с цел намаляване на задръстванията по улиците и булевардите на града, увеличаване на капацитета на системата за обществен транспорт, подобряване на безопасността на движението, подобряване на екологичната среда чрез намаляване на вредните газови емисии, подобряване на „зелените вълни“ по основните булеварди на града, което ще се постигне чрез оптимизиране на градските коли и автобусни линии и т.н.