



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет по транспорта

Катедра Железопътна техника

Доц. д-р инж. СВЕТЛА ДИМИТРОВА СТОИЛОВА

**РАЗРАБОТВАНЕ НА МНОГОКРИТЕРИАЛНА
СИСТЕМА ЗА ОЦЕНКА И ИЗБОР НА
ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ
В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на научна степен
"ДОКТОР НА НАУКИТЕ"

Област на висше образование:

5. Технически науки

Професионално направление:

5.5. Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност:

Управление и експлоатация на железопътния транспорт

София, 2018 г

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Железопътна техника“ към Факултета по транспорт на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 26.03.2018г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 30.07.2018 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-130/25.04.2018г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р инж. Валери Стоилов – председател
2. Доц. д-р инж. Димитър Дичев – научен секретар
3. Проф. д-р инж. Огнян Андреев
4. Проф. д-тн инж. Росен Иванов
5. Проф. д-р инж. Кирил Карагъзов
6. Проф. д-р инж. Тодор Размов
7. Проф. д-тн инж. Александер Сладковски

Рецензенти:

1. Проф. д-тн инж. Росен Иванов
2. Проф. д-р инж. Кирил Карагъзов
3. Доц. д-р инж. Димитър Дичев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултета по транспорт на ТУ-София, блок №9, кабинет № 9310.

Автор: доц. д-р инж. Светла Димитрова Стоилова

Заглавие: Разработване на многокритериална система за оценка и избор на технологии за превоз в транспортна мрежа

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

През последните години усилията на Европейската комисия и приетите мерки, залегнали в железопътните пакети, са насочени към реструктуриране на европейския железопътен пазар, засилване позицията на железниците спрямо другите видове транспорт и повишаване конкурентоспособността на железопътния транспорт. В тази връзка разработването на интегрирана система за многокритериална оценка и избор на транспортни технологии за превоз е актуална и значима както за науката, така и за обществото задача.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се разработи комплексна методология, основана на интегриран научен подход, за многокритериален избор на транспортна технология за превоз в транспортната мрежа. За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи: разработване на многокритериална система за оценка и избор на технологии за превоз; комплексно отчитане в многокритериалния модел на количествени и качествени икономически, екологични, технологични, социални и специфични критерии на технологиите за превоз; установяването на чувствителността на моделите и на критериите; изучаване на поведението на системата чрез изследване на изменението на транспортните потоци; анализ на чувствителността от изменение на получените резултати; проверка на адекватността на моделите; разширяването на научните знания в областта на транспорта; определянето на сферите на приложение на разработените нови модели, установените нови факти и зависимости. При провеждане на изследването са използвани следните математически методи: теория на размитите множества; линейно оптимизиране; теория за избор на решение; методи на многокритериалния анализ – метод на аналитичната йерархия АНР, размит метод на аналитичната йерархия с прилагане на теорията на размитите множества FАНР; метод PROMETHEE, метод DEAMATEL; метод на Дървото на решенията; теория на графите; многомерен статистически анализ, факторен анализ; клъстерен анализ.

Научна новост

Разработени са оригинална комплексна методология за решаване на проблем, свързан с многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, и оригинална комплексна методология за многокритериална класификация на превозите, съдържащи теоретични обобщения. Комплексната методология съдържа следните етапи: съставяне на алтернативи за превоз; оптимизация на параметрите на технологията за превоз и отчитане на неопределеността на процесите; избор на допълнителни количествени и качествени критерии за оценка на алтернативите; определяне на тежестите на допълнителните критерии по метода на аналитичната йерархия АНР или неговият размит вариант с прилагане на теорията на размитите множества FАНР; приоритизиране на алтернативите по метода за многокритериален анализ PROMETHEE; избор на оптимална алтернатива по въведени комплексни критерии за многокритериален избор на технологии за превоз в състояние на определеност и в състояние на неопределеност. При състояние на неопределеност интегрираният наученият подход е разширен с метода за избор на решение – Дърво на решенията и е въведен комплексен критерий за оценка. Разработената комплексна методология за многокритериална класификация на превозите в транспортна мрежа обхваща класифициране в групи или подреждане на изследваните обекти, на базата на изследване на комплекс от фактори, и прилагане на методите на многомерния статистически анализ. Разработена е оригинална комплексна методика за определяне на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, съдържаща следните основни части: методика за разделяне на профила на маршрута на участъци; оптимизационен модел, основан на теорията на графите, за определяне енергийната ефективност при движение на товарен автомобил.

Практическа приложимост

Проведеното изследване се отличава със значителна практическа полезност при разработване на технологии за превоз по железопътен и интермодален транспорт, при разработване на графика за движение на влаковете, при планиране на маршрутите на

движение на тежкотоварни автомобили, при организацията на превозите с метрополитен, при оценка на степента на развитие на превозите. Прилагането на комплексната методология при организация на превозите би допринесло както за удовлетворяване на потребителите на железопътни транспортни услуги, така и за намаляване на експлоатационните разходи на превозвачите.

Апробация

Резултатите от изследването са апробирани за железопътната и пътната мрежа на Република България. Разработената комплексна методология за класификация на превозите е апробирана за държавите в Европа. Разработените методики са експериментирани в следните научно-изследователски проекти: „Моделиране и изследване на бързи и експресни пътнически превози по основни направления в железопътната мрежа” - проект № 152ПД0040-04 при НИС към ТУ– София, 2015/2016 г.; „Симулационно моделиране на технологичните процеси в основни метростанции на Софийския метрополитен” – проект № 142ПД0019-04 при НИС към ТУ – София, 2014/2015 г.; “Приложение на усъвършенствана комуникационна система за изследване и повишаване ефективността на автовлакове при движение в автомагистрални пътни условия”, МОН – проект № ДДВУ02/51 от 20.12.2010 г. (2010-2012 г); “Логистично осигуряване доставката на стоки в транспортната мрежа” - проект № 946 НИ – 4/2007 при НИС към ТУ – София.

Публикации

Публикациите, свързани с дисертационния труд са общо 28, от които 5 публикации са в списания с Импакт фактор на Thomson Reuters Web of Science; 9 от публикациите са в списания и сборници от научни конференции, индексирани с Импакт ранг на Scopus; останалите 14 публикации са публикувани в списания и сборници от научно-технически конференции с международно участие. 7 от публикациите са самостоятелни, като 4 от тях са индексирани с Импакт фактор на Thomson Reuters Web of Science или Импакт ранг на Scopus. По публикациите има 28 цитирания, 9 от които са в Scopus. Резултатите от дисертационния труд са публикувани в следните източници:

- Списания с импакт фактор на Thomson Reuters Web of Science: Comptes rendus de l'Académie Bulgare des Sciences, IF: 0.284; Journal of the Balkan Tribological Association, IF: 0.737; PROMET - Traffic&Transportation, IF: 0.43; Journal of Scientific & Industrial Research, IF: 0.557; Technical Gazette, IF: 0.723.

- Списания с импакт ранг на Scopus: Transport Problems, International scientific journal. SJR: 0.210.

- Сборници от научни конференции индексирани в Scopus и/или Thomson Reuters Web of Science: Proceeding of International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), IEEE Xplore Digital Library, (SCOPUS); Proceeding of 15th International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25.-27.05.2016, Jelgava, Latvia, SJR: 0,23; SGEM2016, Bk 2: Political Sciences, Law, Finance, Economics and Tourism Conference Proceedings, SCOPUS, Thomson Reuters Web of Science; Proceedings of 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, May24-26, 2017, Jelgava, Latvia; SCOPUS, Thomson Reuters Web of Science; SJR: 0,23; Proceedings of 21st International Scientific Conference Transport Means 2017, Juodkrante, Lithuania, SCOPUS, SJR: 0,12.

- Списания: International virtual journal "Machines, Technologies, Materials".

- Сборници от научно-технически конференции с международно участие: International conference on automobile and vehicle technologies AVTHEC'13, Istanbul, 2013; Septième édition du Colloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14, Paris, 2014; International Conference International Scientific Conference Horizons of railway transport, Zilina, Slovak Republic 2014(2015); XVI International Scientific-expert Conference on Railways RAILCON'14, Serbia, Nis; 3RD International congress science and management of Automotive and Transportation Engineering, 23rd - 25th of October, 2014 Craiova, Romania; Scientific conference On Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies, Technical University of Sofia, 2014(2015), Sozopol, Bulgaria.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **413** страници, като включва въведение, девет глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на приносите, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **431** литературни източници, като **337** са на латиница и **90** на кирилица и **4** интернет адреса. Работата включва общо **218** фигури и **180** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд. Към дисертационния труд в общо книжно тяло е оформено приложение с обем **143** страници.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ВЪВЕДЕНИЕ

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА И НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ОБЛАСТТА НА ИЗБОР НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

I.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Разработването на комплексна методология, която да служи за създаване на многокритериална система за избор на технология за превоз в транспортна мрежа, с възможности да се прилага при изследвания с различен обхват, като например: избор на технология за превоз по железопътен транспорт; оценка на ефективността от интермодални превози; оценка на ефективността от градски релсови превози; избор на маршрут за превоз в пътната мрежа; изменение на транспортните потоци; представлява проблем, който е необходимо да бъде решен.

I.2. АНАЛИЗ НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ОБЛАСТТА НА ИЗБОР НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРЕВОЗ

I.2.1. СЪСТОЯНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА ПО ПРОБЛЕМА

В научните изследвания се прилагат основно един или няколко оптимизационни параметъра и критерии, и всеки вид транспорт се моделира поотделно. Факторите, които се отчитат са от важност или за транспортните фирми, или за обществото, т.е. опазване на околната среда. Задачите, които се изследват и са важни за транспортните оператори, са главно минимизиране на разхода на гориво, минимизиране на експлоатационните разходи за превоз, оптимизиране на броя на превозните средства, минимизиране на продължителността на претоварните операции, оптимизиране на маршрутизацията, оптимизиране на процесите в логистичните центрове и др. Факторите, които са важни по отношение на опазването на околната среда и обществото са намаляване на вредните емисии от превозните средства, намаляване на шума, увеличаване на скоростта, въвеждане на екологични и енерго-ефективни транспортни технологии. В научните изследвания тези проблеми са изследвани поотделно в различни публикации. Върху избора на технология за превоз оказват влияние комплекс от фактори, които е необходимо да се отчетат при взимане на решение.

Необходимо е да се разработи научно-обоснована система, включваща комплексна система от критерии и методика за интегрирана математическа оптимизация на параметрите на превозния процес, по която да се оценяват различни транспортни технологии за превоз в транспортната мрежа, да се изследват взаимовръзките между отделните параметри и влиянието им върху превозния процес, като в резултат на взаимно-свързани методики за оптимизация да се предлага конкретно решение. Наличието на такава система за оценка и избор ще позволи да се оценяват и избират транспортни технологии, които да отговарят както на възможностите на превозвачите, така и на интересите на обществото, и опазването на околната среда.

I.2.2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОКРИТЕРИАЛЕН АНАЛИЗ ПРИ ПРОВЕЖДАНЕ НА НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

I.2.2.1. Методи на многокритериалния анализ

Основните методи на многокритериалния анализ, които се прилагат, са методът на Аналитичната йерархия АНР и неговият размит вариант с прилагане на теорията на

размитите множества FАНР, методът PROMETHEE и методът ELECTRE за приоритизиране на алтернативи; методът TOPSIS и методът DEMATEL.

1.2.2.2. Основни проблеми решавани с многокритериален анализ

Научните изследвания, свързани с приложение на методите на многокритериалния анализ за изследване на превозите, са насочени главно в следните основни направления: Избор на транспортен проект; Избор на маршрут в транспортна мрежа; Избор на вид транспорт за извършване на превозите; Изследване на превозите; Изследване на екологични показатели, свързани с транспорта. Резултатите показват, че най-използван е методът на аналитичната йерархия АНР или неговият размит вариант FАНР.

1.2.3. ОПТИМИЗАЦИОННИ МОДЕЛИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯТА НА ПРЕВОЗ С ЖЕЛЕЗОПЪТЕН И ИНТЕРМОДАЛЕН ТРАНСПОРТ

Основните направления в научните изследвания, свързани с оптимизацията технологията за превоз в транспортната мрежа, са насочени към решаването на следните проблеми: Оптимизация на схемата превоз и графика за движение на влаковете, включваща определяне на маршрутите и броя на превозните средства по зададен критерий; Оптимизация на връзките на влаковете във възелните гари и обвързка на подвижния състав; Изследване на закъсненията на влаковете; Изследване на пътничкопотоците и товаропотоците; Изследване на интермодални превози; Изследване на превозите с метрополитен; Изследване на екологични параметри на превозите.

Основните математически методи, които са използвани в научните изследвания, свързани с организацията на превозите са: линейно оптимизиране, динамично оптимизиране, теория на размитите множества, симулационно моделиране, евристични методи, стохастични модели, многопараметрично оптимизиране, многокритериален анализ.

1.2.4. НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, СВЪРЗАНИ С КЛАСИФИКАЦИИ НА ПРЕВОЗИТЕ

1.2.4.1. Класификация на железопътните превози

Резултатите от изследванията, свързани с железопътния транспорт в Европейските държави, могат да бъдат обобщени, както следва: класификациите на железопътните превози имат за цел да решат следните проблеми: транспортни проблеми, свързани с подобряване на конкурентната позиция на железопътния транспорт по отношение на други видове транспорт; инфраструктурни проблеми - рехабилитация и развитие на железопътните линии и гари; технически проблеми - подобряване на техническото ниво на подвижния състав; интегрирани проблеми, свързани с развитието на производителността на железопътния транспорт. Всички тези изследвания показват, че най-важните фактори, определящи развитието на железопътния транспорт, са: брутният вътрешен продукт, като фактор на икономическо развитие; разходите за железопътен транспорт, които зависят от повишаването на производителността, ефективността и качеството на железопътните услуги; производителността на подвижния състав.

1.2.4.2. Класификация на железопътните гари

Математическите модели, които се прилагат, са: клъстерен анализ, регресионни модели, невронни мрежи, определяне на тежестта на факторите в точкови скали или анкетни проучвания. Може да се обобщи, че с разработването на класификация на железопътните гари се цели да се решат следните проблеми: транспортни - подобряване на достъпността и връзките на гарата с други видове транспорт; търговски - рехабилитация и развитие на гарите, като търговски центрове и повишаване на тяхната привлекателност; интегрални - развитие на районите около гарите, като място за транспортиране и търговски услуги. Повечето от анализирания изследвания показват, че методът на Клъстерния анализ може да се използва успешно за класифициране на железопътните гари.

В научните изследвания не е изследван проблемът как класирането на пътническите жп гари може да се използва при планирането на спиранията на различните категории влакове.

1.2.4.3. Класификация на превозите с метрополитен

Класификацията на метромрежите спомага за оценка и съпоставка на развитието им. Разработени са различни класификации на метромрежите в зависимост от различни методични подходи и използвани фактори. При изследване на метромрежите широко намира приложение теорията на графите.

Обикновено метрополитените могат да се съпоставят и класират по всеки един от предварително избрани показатели, при което могат да се направят индивидуални заключения. Систематизирането само по един показател не дава цялостна характеристика за степента на тяхното развитие. Затова е необходимо да се приложи подход, по който предварително определени показатели да бъдат използвани едновременно за класифициране на изследваните обекти.

1.3. АНАЛИЗ И ИЗВОДИ

1. Разработването на комплексна методология и интегриран научен подход, който да служи за създаване на многокритериална система за оценка и избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, и да отчита детерминирани и недетерминирани транспортни потоци, с възможности да се прилага при различни транспортни изследвания, представлява проблем, който е необходимо да бъде решен.

2. Методите на многокритериалния анализ са подходящи за определяне на значението на предварително въведени критерии и под-критерии, взаимните им влияния, и приоритизиране на предварителни зададени алтернативи на превоз. Най-използваните методи са АНР, DEMATEL и PROMETHEE, поради наличието на индекс на съгласуваност на експертите, и анализ на чувствителността, което с помощта на математически апарат верифицира получените резултати.

3. Важни фактори при избор на вид транспорт са разходи, скорост, сигурност, надеждност и транспортен капацитет, [118,120,158]. В литературните източници тези критерии се изследват съвместно, което не позволява да се отчете значението на транспортната услуга по отношение на производителите и потребителите на превози.

4. Проучените литературни източници показват, че експлоатационните разходи са основен критерий при разработване на превозите, [381, 390, 393, 415]. За установяване на експлоатационните разходи е необходимо да се извърши предварителна оптимизация на изследваните алтернативи за определяне на организацията на превозите за всяка от тях. Като основен критерий за превозвачите, експлоатационните разходи трябва да се изследват като самостоятелен фактор за избор на транспортна технология.

5. Социално-икономическите, технологичните, екологичните и други фактори също оказват влияние върху избора на транспорт. Този тип фактори обикновено могат да се тълкуват като носещи ползи за транспортния процес от гледна точка на потребителите на превози и обществото. За това тези критерии трябва да се изследват отделно с многокритериален анализ, и да се определи тяхната интегрирана оценка върху алтернативите за превоз.

6. За избор на транспортна технология е необходимо да се въведе комплексен критерий за взимане на решение, който да отчита както експлоатационните разходи, така и допълнителните фактори, влияещи върху транспортния процес.

7. Необходимо е да се въведе комплексен критерий за избор на решение при изменение на транспортните потоци, при който да се отчитат както експлоатационните разходи, така и други критерии, важни за транспортния процес. В този случай е подходящо да се въведе интегриран подход от многокритериален анализ, и подходящ метод от теорията за избор на решение.

8. Въпросът за отчитане на неопределеността на процесите при моделиране на превозите не е добре изследван. Изследват се предимно превози при детерминирани процеси. Теорията на размитите множества може да се приложи при оптимизация на превозите с цел отчитане на неопределеността на избрани параметри на превозния процес, като напр. пътничкопотоци, запълване на превозните средства и др.

9. Разработването на класификация на железопътните гари, насочена към организацията на превозите, има важно значение при формирането на алтернативни схеми за превоз.

10. При избора на оптимална схема за превоз е важно да се оптимизира и взаимодействието на влаковете във възелните гари. При определяне на границите на продължителността на връзката е необходимо да се отчете неопределеността на процесите, като подходящ метод за това е теорията на размитите множества.

11. Тъй-като железопътният транспорт в по-голямата си част е електрифициран, и в този смисъл е екологичен, при сравняване на варианти за обслужване с железопътен (интермодален) и автомобилен транспорт при превоза на товари по алтернативни маршрути е необходимо за автомобилния транспорт да се сравняват предварително установени ефективни маршрути по избран оптимизационен критерий. Затова е необходимо предварително да се оптимизира движението на превозното средство (тежкотоварен автомобил) по избран оптимизационен критерий, и да се изследват критерии, свързани с избор на подходящ маршрут на движение при сравнение на алтернативи за превоз.

12. Интермодалните превози в пътническия транспорт, като например превозът на моторни превозни средства със специализирани вагони, когато притежателите им пътуват със същия влак, не са достатъчно изследвани.

13. Оптимизирането на схемата за превоз на метровлаковете е свързано с установяване на необходимия интервал на движение на метровлаковете в рамките на вътрешно часовата неравномерност на пътничекотока. За отбелязване на променливостта на пътничекотоците е необходимо в оптимизационния модел да се отчете неопределеността на процесите.

14. Съществуват различни методи за определяне на вредните емисии. За предварителни оценки е подходящо да се използват Европейските стандарти за отработени газове, които дефинират допустимите стойности на отработените газове на моторните превозни средства, пускани на европейския пазар.

15. Разработването на класификации на превозите по комплекс от критерии може да служи за оценка на степента на развитието на транспорта. Необходимо е да се приложи подход, по който предварително определени показатели да бъдат използвани едновременно за класифициране на изследваните обекти.

1.4. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въз основа на направените изводи и анализ на научните изследвания, свързани с избора на транспортна технология за превоз, е формирана целта на дисертационния труд, която е:

Да се разработи комплексна методология, основана на интегриран научен подход, за многокритериален избор на транспортна технология за превоз в транспортната мрежа.

За постигането на поставената цел е необходимо да се решат следните **основни задачи**:

I. Да се разработи комплексна методология за многокритериална оптимизация за избор на транспортни технологии за превоз в транспортна мрежа;

II. На базата на комплексната методология за многокритериална оптимизация да се разработят методики за многокритериален избор на технологии за превоз по железопътен транспорт, интермодален транспорт и градски пътнически транспорт. Тази задача обхваща разработването на следните модели: 1) Многокритериален модел за оптимизиране на схемата за превоз в пътническия жп транспорт 2) Многокритериален модел за интермодални пътнически превози; 3) Многокритериален модел за избор на маршрут в транспортна мрежа; 4) Многокритериален модел за оценка на ефективността на интермодален товарен транспорт; 5) Многокритериален модел за оценка на технологии за превоз с градски транспорт.

III. Да се разработи комплексна методология, основана на интегриран научен подход за многокритериална класификация на превозите с цел оценка на развитието им. На базата на разработената методология да се разработят методики за класификация на превозите. Да се разработи модел за класификация на железопътните гари за пътнически превози, насочена към организация на превозите.

IV. Да се въведат критерии за многокритериална оптимизация.

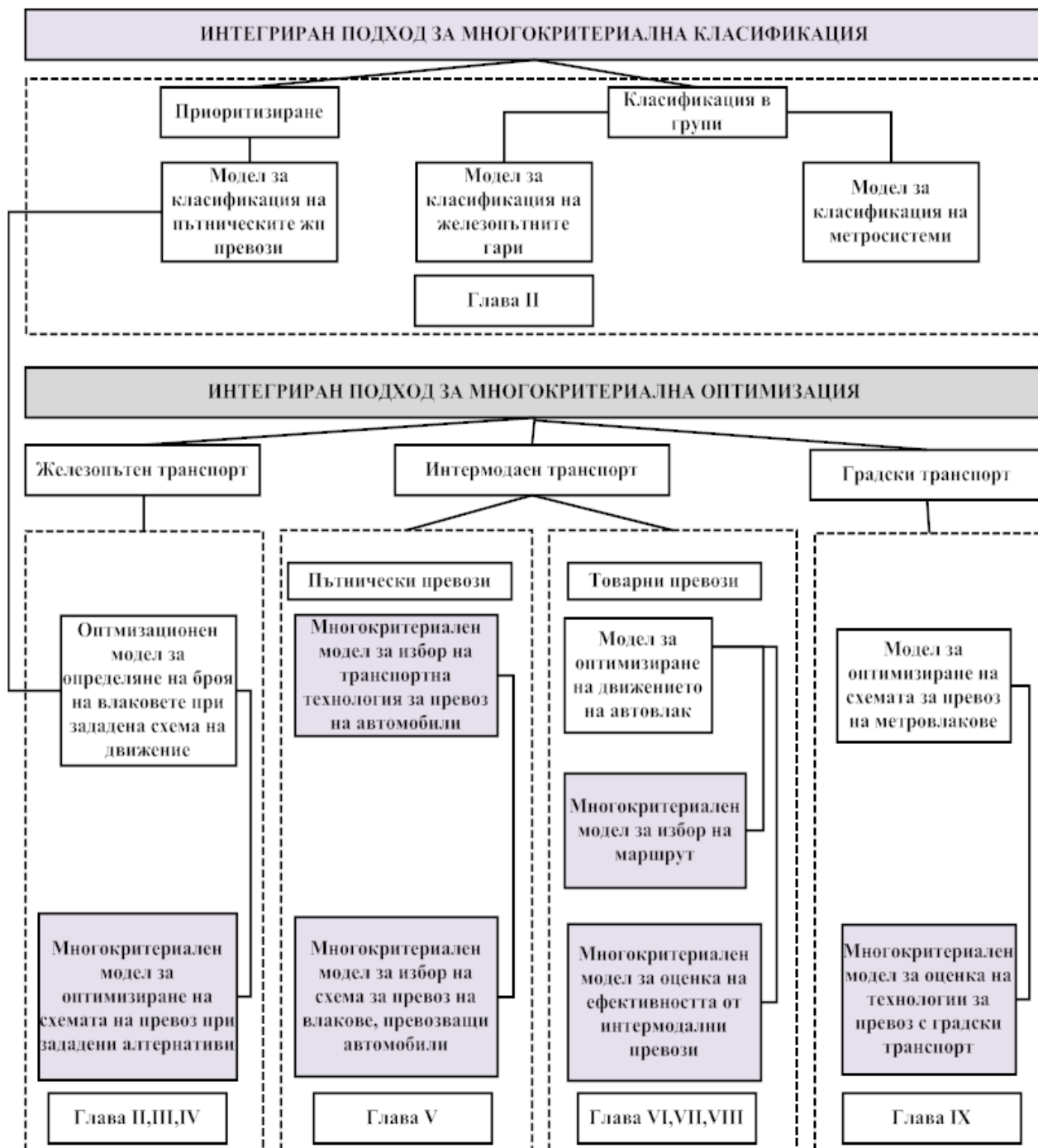
V. Да се разработи оптимизационен модел за определяне на броя на влаковете за пътнически железопътни превози при зададена схема за превоз с отчитане на неопределеността на процесите.

VI. Да се изследва влиянието на изменението на пътничкопотоците в пътническия транспорт върху многокритериалния модел.

VII. Да се разработи модел за оптимизиране на движението на превозно средство за намаляване на замърсяването на околната среда.

VIII. Да се разработи оптимизационен модел за оптимизиране на схемата на движение на метровлаковете с отчитане на неопределеността на процесите.

На фиг.1.10 е показана схема на комплексната методология, на многокритериалните и оптимизационните модели, разработени в дисертационния труд.



Фиг.1.10. Схема на комплексната методология и на многокритериалните модели в дисертационния труд

ГЛАВА II. ОБЩА ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА НА КОМПЛЕКСНА МЕТОДОЛОГИЯ ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ИЗБОР НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРЕВОЗ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

II.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Комплексната методология може да се представи със следните основни етапи:

- 1-ви етап. Разработване на алтернативи за превоз.
- 2-ри етап. Оптимизация на всяка алтернатива за определяне на параметрите на превоз по основния критерий за оценка на алтернативите - експлоатационни разходи, с отчитане на неопределеността на процесите.
- 3-ти етап. Избор на допълнителни количествени и качествени критерии за оценка на алтернативите.
- 4-ти етап. Приоритизиране на критериите и на алтернативите по допълнителните критерии.
- 5-ти етап. Избор на оптимална алтернатива по комплексен оптимизационен критерий, включващ експлоатационните разходи и допълнителните критерии.

Изследването на превозите и разработването на технологии в транспортната мрежа е свързано и със съставянето на класификации за различни цели, като например разработване на маршрутизация на превозите; установяване и съизмерване на развитието на превозите на национално, европейско или друго ниво; оценка на технологии за превоз по избрани показатели и др. Комплексната методология за съставяне на многокритериална класификация на превозите може да се представи със следните основни етапи:

- 1-ви етап. Дефиниране на критерии за класификация.
- 2-ри етап. Определяне на обектите за класификация. Те могат да бъдат например гари, метросистеми, администрации или други обекти на изследване.
- 3-ти етап. Определяне на целта на класификацията – класифициране в групи (кълъстери) или приоритизиране на обектите (подредяване във възходящ ред) по комплексна оценка на дефинираните критерии.
- 4-ти етап. Извършване на класификацията: определяне на групите или приоритизиране на изследваните обекти.

II.2. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА НА КОМПЛЕКСНА МЕТОДОЛОГИЯ ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ИЗБОР НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

II.2.1. РАЗРАБОТВАНЕ НА АЛТЕРНАТИВИ ЗА ПРЕВОЗ

В първия етап, алтернативите за превоз се избират в зависимост от изследваната транспортна област. При организация на превозите с един вид транспорт се разработват вариантни схеми на организация на превозите, които включват маршрутите на организация в съответната транспортна мрежа. При обслужване на маршрутите с повече от една категория превоз, вариантите схеми включват и типа на категорията в зависимост от участъкова скорост и инфраструктурата. При избор на алтернативи между различни видове транспорт и/или интермодален транспорт вариантите включват организация на превозите по успоредни маршрути.

На този етап се формира множеството на алтернативите:

$$(2.01) \quad S = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\}$$

където: a_j е алтернативата на превоз; $j = 1, \dots, m$ е броят на алтернативите.

II.2.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИЯ КРИТЕРИЙ ЗА ОЦЕНКА НА АЛТЕРНАТИВИТЕ - ЕКСПЛОАТАЦИОННИ РАЗХОДИ

Във втория етап се определя основният критерий за избор на оптимална алтернатива (вариантна схема) – експлоатационните разходи за извършване на превоза. За всяка алтернатива (вариантна схема) се извършва оптимизация на превозите по критерий минимум на експлоатационните разходи и се определя броят на превозните средства, категориите превози, пунктовете за спиране, и други необходими параметри за всяка алтернатива a_j . При

извършване на оптимизацията, оптимизационен критерий може да бъде пълните експлоатационни разходи (преки и непреки), преките експлоатационни разходи или разходът на гориво, който е част от експлоатационните разходи.

Оптималната алтернатива се определя по критерий минимум на експлоатационните разходи, т.е.:

$$(2.02) \quad \min_{a_j \in S} c_j(a_j), \text{ лв./ден}$$

където: $c_j(a_j)$ са експлоатационните разходи за алтернатива a_j , получени чрез индивидуални оптимизации за определяне на броя на превозните средства по критерий минимум на експлоатационни разходи за всяка алтернатива поотделно, лв./ден.

$$(2.03) \quad a_j = \{p_{j1}, \dots, p_{jz}, \dots, p_{jZ}\}$$

където: p_{jz} са параметрите на j -та алтернатива a_j ; $z = 1, \dots, Z$ е броят на параметрите.

За оптимизация на превозите за всяка алтернатива се прилага линеен оптимизационен модел. За пътническия транспорт е подходящо да се използва размит линеен оптимизационен модел с прилагане на теорията на размитите множества, и да се отчете променливостта в пътничкопотока и запълването на превозните средства. Това позволява да се повиши адекватността на получените решения.

II.2.3. ИЗБОР НА ДОПЪЛНИТЕЛНИ КОЛИЧЕСТВЕНИ И КАЧЕСТВЕНИ КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА НА АЛТЕРНАТИВИТЕ

За допълнителни критерии се отчитат технологични, социални, екологични и други фактори, т.е.:

$$(2.04) \quad K = \{k_1, \dots, k_i, \dots, k_n\}$$

където: K е множеството на допълнителните критерии; k_i са допълнителните критерии от група i ; $i = 1, \dots, n$ брой на групите допълнителни критерии.

Критериите и под-критериите могат да бъдат количествени (т.е. измерими) или качествени. За определяне на стойностите на критериите за всяка алтернатива се ползват резултатите от предварителната оптимизация на превозите по критерий минимум на експлоатационните разходи.

II.2.4. ФОРМИРАНЕ НА МАТРИЦАТА ЗА ВЗИМАНЕ НА РЕШЕНИЕ ПО ДОПЪЛНИТЕЛНИТЕ КРИТЕРИИ

На този етап се формира матрицата за взимане на решение $S = \{a_{ij}\}$; $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$ (табл.2.01), с брой стълбове равен на броя на допълнителните критерии и брой редове равен на броя на алтернативите. Елементите на матрицата са стойностите на допълнителните критерии за всяка алтернатива, които са получени след индивидуални оптимизации по критерий минимум на експлоатационните разходи за всяка алтернатива. Качествените критерии се задават с „да“ и „не“.

Табл. 2.01. Матрица за взимане на решение

$K - \text{Критерии}$ $W - \text{Тегла}$	k_1 W_1	k_2 W_1	...	k_i W_i	...	k_n W_n
Алтернативи						
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_i(a_1)$	...	$f_n(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_i(a_2)$	...	$f_n(a_2)$
...	...	...	...	...	...	...
a_j	$f_1(a_j)$	$f_2(a_j)$	...	$f_i(a_j)$	...	$f_n(a_j)$
...	...	...	...	...	...	...
a_m	$f_1(a_m)$	$f_2(a_m)$	...	$f_i(a_m)$	...	$f_n(a_m)$

Елементите на матрицата са $f_i(a_j)$, които се задават със стойностите на допълнителните критерии за всяка алтернатива. За алтернативата $a_j \in S$, $f_i(a_j)$ е стойността на i -ти критерий.

На множеството на критериите $K = \{k_1, \dots, k_i, \dots, k_n\}$ съответства множество на теглата на критериите W , което показва значимостта на всеки критерий в сравнение с останалите.

$$(2.05) \quad W = \{W_1, \dots, W_i, \dots, W_n\}$$

За елементите на W е в сила условието:

$$(2.06) \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

Теглото на критерий k_i показва значението му спрямо останалите критерии.

II.2.5. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕГЛАТА НА ДОПЪЛНИТЕЛНИТЕ КРИТЕРИИ

Подходящ метод за тази цел е многокритериалният анализ – методът на аналитичната йерархия АНР или неговият размит вариант с прилагане на теорията на размитите множества FАНР, или методът DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory). Методът DEMATEL се прилага ако е необходимо да се определят и взаимните влияния между критериите. И при трите метода на многокритериалния анализ оценяването на критериите се извършва от експерти по предварително установени скали за оценка.

II.2.5.1. Метод на Аналитичната йерархия (АНР)

Методът АНР представлява един от най-популярните методи за научен анализ на сценарии и вземане на решения, чрез последователна оценка на йерархията, чиито елементи представляват целите, критериите, подкритериите и алтернативите, затова и спада към класа на методите за оптимизация. Теглата на критериите се определят чрез изчисляване на собствените вектори и стойности на определена матрица на оценките, която се получава от информацията, задавана от лицето вземащо решение, получена чрез сравнение по двойки на критериите на основата на т.нар. фундаментална скала за оценка на критериите (скала на Саати). В табл.2.02 е показана скалата за оценяване на Саати.

Табл. 2.02. Скала за оценяване на Саати

Определение	Ниво на значимост	Реципрочни стойности
Еднакво значими	1	1
Умерено(средно) значим	3	1/3
Съществено(силно) значим	5	1/5
Много силно значим	7	1/7
Изключително значим	9	1/9
Средни стойности между две близки преценки	2,4,6,8	1/2 ; 1/4 ; 1/6; 1/8

Анализът на чувствителността се извършва по коефициента на относителната важност, който показва съгласуваността на оценките на експертите CR .

$$(2.13) \quad CR = \frac{CI}{RI} \leq 0.1 ,$$

където: CR е коефициентът на съгласуваност; CI е индексът на съгласуваност; RI е случаен индекс (индексът на последователността за реда n от случайно генерирани сравнения по двойки на матрицата).

Ако, $CR \leq 0.10$ оценките на относителната важност на критериите се смятат за допустими. Ако CR е много по-голяма от 0.1, оценките не са реални и сравнението по двойки трябва да се повтори. Наличието на индекс на съгласуваност на експертите, и провеждането на анализ на чувствителността на решенията, с помощта на математически апарат верифицира получените резултати.

II.2.5.2. Размит метод на Аналитичната йерархия (FАНР) с прилагане на теорията на размитите множества

Размитият метод на Аналитичната йерархия (FАНР) се основава на теорията на размитите множества и метода на аналитичната йерархия. В изследването е приложен подходът на Чанг [137] (Chang's extent approach – FАНР), при който се използва скала с триъгълни размити числа за сравняване по двойки на критериите. В табл.2.04 е представена скалата с триъгълни размити числа. Анализът на чувствителността на полученото решение се извършва както при метода АНР.

Табл. 2.04. FАНP скала

Лингвистична скала за значимост	Интензивност на значението	Триъгълни размити числа (l, m, u)
Еднакво значими	1	(1,1,1)
		(1,1,3)
Междинна	2	(1,2,4)
Умерено(средно) значим	3	(1,3,5)
Съществено(силно) значим	5	(3,5,7)
Много силно значим	7	(5,7,9)
Исключително значим	9	(7,9,9)
Реципрочни стойности		(1/ u , 1/ m , 1/ l)

II.2.6. Приоритизиране на алтернативите според допълнителните критерии

Подходящ метод за решаване на този проблем е аутранкирацията метод на многокритериалния анализ PROMETHEE, при който се задава матрицата за взимане на решение и тежестите на критериите. В разработения интегриран подход тежестите се определят предварително по метода АНР (FАНP, DEAMATEL). За всеки от допълнителните критерии са задава и видът на оптимизацията, съответно максимум или минимум, т.е.:

$$(2.27) \quad \max_{a_j \in S} f_i(a_j)$$

$$(2.28) \quad \min_{a_j \in S} f_i(a_j)$$

$f_i(a_j)$, $i = 1, \dots, n$ е оценката на i -ти критерий

В метода PROMETHEE на всеки критерии, където $i = 1, 2, \dots, n$ се съпоставя един обобщен критерий, или може да се зададе като следната двойка ($f_i(x), P(a, b)$). Задаването на матрицата на алтернативите с m на брой на алтернативи, има вида показан в табл.2.05.

Табл. 2.05. Матрица на алтернативите в метода PROMETHEE

<i>К - Критерии</i>	k_1	k_2	...	k_i	...	k_n
<i>Алтернативи</i>						
<i>Вид оптимизация Min/Max</i>						
<i>Тегло</i>	W_1	W_1		W_i		W_n
<i>Функция на предпочитание $P(a, b)$</i>						
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_i(a_1)$	...	$f_n(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_i(a_2)$	...	$f_n(a_2)$
...	...	...	...	...	...	...
a_j	$f_1(a_j)$	$f_2(a_j)$	...	$f_i(a_j)$	...	$f_n(a_j)$
...	...	...	...	...	...	...
a_m	$f_1(a_m)$	$f_2(a_m)$	...	$f_i(a_m)$	...	$f_n(a_m)$

В метода PROMETHEE се използват шест вида функции на предпочитание. Обобщените релации в метода PROMETHEE се определят на основата на т.нар. аутранкиращи потоци.

На множеството на алтернативите съответства множество на нетните аутранкиращи потоци φ , което показва приоритета на всяка алтернатива.

$$(2.44) \quad \varphi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_m\}; \quad j = 1, \dots, m \text{ е броят на алтернативите}$$

Оптималната алтернатива по допълнителните критерии се определя по критерий максимум на нетните аутранкиращи потоци, което съответства на алтернативата с най-висок приоритет, т.е.:

$$(2.45) \quad \max_{a_j \in S} \varphi_j(a_j)$$

където: $\varphi_j(a_j)$ са нетните аутранкиращи потоци за алтернатива a_j , получени по метода на многокритериалния анализ PROMETHEE.

За прилагането на метода PROMETHEE е подходящо да се използва софтуерът Visual PROMETHEE.

II.2.7. ОПТИМИЗАЦИОНЕН КРИТЕРИЙ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА АЛТЕРНАТИВА

Оптималните решения по критерий преки експлоатационни разходи и по критерий максимум на нетните аутранкиращи потоци могат да съвпадат или да се различават. Изборът на оптимална транспортна алтернатива се извършва при два типа процеси: детерминирани и при изменение на изходните параметри. В първият случай системата за взимане на решение е в състояние на определеност, а във втория е в състояние на неопределеност и риск.

II.2.7.1. Състояние на определеност

За избор на оптимална транспортна алтернатива се въвежда комплексен критерий - минимумът на съотношението r_j на нормализираните експлоатационни разходи (определени чрез оптимизация за всяка от алтернативите) и на нормализираните нетни аутранкиращи потоци (определени по метода PROMETHEE):

$$(2.46) \min_{a_j \in S} r_j(a_j)$$

$$(2.47) r_j(a_j) = \frac{c_j}{a_j}$$

Нормализираните експлоатационни разходи за j -та алтернатива се определят по формулата:

$$(2.48) c_j = \frac{c_j(a_j)}{\sum_{j=1}^m c_j(a_j)}$$

където: c_j са нормализираните експлоатационни разходи за j -та алтернатива; $c_j(a_j)$ са експлоатационните разходи за алтернатива a_j , определени чрез предварителна оптимизация на превозите, лв./ден.

Нормализираните нетни аутранкиращи потоци за j -та алтернатива се определят по формулата:

$$(2.49) a_{\varphi,j} = \frac{\varphi_j(a_j) + M}{\sum_{j=1}^m (\varphi_j(a_j) + M)}$$

където: $a_{\varphi,j}$ са нормализираните нетни аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE за алтернатива a_j ; $\varphi_j(a_j)$ са нетните аутранкиращи потоци за алтернатива a_j ; M е положително цяло число, което трябва да направи отрицателните нетни аутранкиращи потоци φ_f положителни. Например, ако максималния отрицателен нетен аутранкиращ поток е $\varphi_f = -0.9$, стойността на M е $M = 1$; ако максималния отрицателен нетен аутранкиращ поток е $\varphi_f = -1$, стойността на M е $M = 2$.

Този интегриран подход за избор на оптимална алтернатива, съчетаващ оптимизационен модел за оптимизация на превозите и многокритериален анализ за вземане на решение, позволява комплексна оценка на алтернативите по критерия за минимални преки експлоатационни разходи и по критерия от допълнителните показатели - максимален нормализиран нетен аутранкиращ поток.

II.2.7.2. Състояние на неопределеност

В случай на неопределеност, при процентно изменение на изходните параметри (напр. промяна на пътничопотока) се определят тежестите за всяко изменение на изследваните параметри по метода АНР (FАНР).

Дефинират се процентните изменения на управляващия параметър:

$$(2.50) Z = \{z_1, \dots, z_i, \dots, z_v\}$$

В този случай се формира множеството на вероятностите на изменение на изследвания параметър.

$$(2.51) P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_v\}$$

където: P е множеството на вероятностите на изменението на наблюдаван параметър; w е множеството на тежестите на измененията на наблюдаван параметър; $i = 1, \dots, v$ е броят на изследваните изменения.

$$(2.52) \quad \sum_{i=1}^v p_{ji} = 1$$

На всеки елемент от множеството Z съответства елемент от множеството P . Стойностите на вероятностите съответстват на тежестите на критериите и се определят чрез сравнение по двойки по метода АНР (FАНР). Методът DEMATEL в случая не е подходящ, тъй-като не се търсят взаимни влияния между вероятностите на изменение на изследвания параметър.

$$(2.53) \quad W = \{W_1, \dots, W_i, \dots, W_v\}$$

$$(2.54) \quad P \equiv W$$

където: W е множеството на тежестите на измененията на наблюдаван параметър; $i = 1, \dots, v$ е броят на изследваните изменения.

За елементите на W е в сила условието:

$$(2.55) \quad \sum_{i=1}^v W_i = 1$$

В този случай подходящ метод за избор на оптимална алтернатива при взимане на решение е Дърво на решенията, който позволява да се взема решение повече от един път при различни ситуации. Дървото на решенията се представя във вид на граф, съставен от възли и разклонения (клони), които ги свързват. Методът на Дървото на решенията се използва поотделно за оценка на вариантите схеми по критерий експлоатационни разходи и по критерий аутранкиращи потоци от прилагането на многокритериалния модел за допълнителните критерии.

Критерият за оценка по метода на Дървото на решенията е минимум или максимум на очакваната средна стойност (Expected Value), в зависимост от вида на изследваните критерии. При критерий експлоатационни разходи, критерият за оценка по метода на Дървото на решенията е минимум на очакваната средна стойност; при допълнителните критерии от многокритериалния модел, критерият за оценка по метода на Дървото на решенията е максимум на очакваната средна стойност на аутранкиращите потоци, имайки предвид, че те изразяват ползи за потребителите на транспортни услуги.

$$(2.56) \quad \min_{a_j \in S} EV_j^c(a_j)$$

$$(2.57) \quad \max_{a_j \in S} EV_j^b(a_j)$$

$$(2.58) \quad EV_j^c(a_j) = \sum_{i=1}^v w_i \cdot c_i(a_j)$$

$$(2.59) \quad EV_j^b(a_j) = \sum_{i=1}^v w_i \cdot \varphi_i(a_j)$$

където: $EV_j^c(a_j)$ е очакваната средна стойност на преките експлоатационни разходи; $EV_j^b(a_j)$ е очакваната средна стойност на допълнителните критерии по многокритериалния модел; $c_j(a_j)$ са преките експлоатационни разходи за алтернатива a_j ; $\varphi_j(a_j)$ са нетните аутранкиращи потоци за алтернатива a_j , получени по метода на многокритериалния анализ PROMETHEE.

Оптимизационният критерий за избор на оптимална алтернатива по комплексен критерий, включващ експлоатационните разходи и допълнителните критерии от многокритериалния модел, е минимум на съотношението $q_j(a_j)$ на нормализираните критерии на очакваната средна стойност на експлоатационни разходи EV_j^c и нормализираните критерии на очакваната средна стойност на допълнителните критерии от многокритериалния модел EV_j^b .

$$(2.60) \quad \min_{a_j \in S} q_j(a_j)$$

$$(2.61) \quad q_j(a_j) = \frac{EV_j^c}{EV_j^b}$$

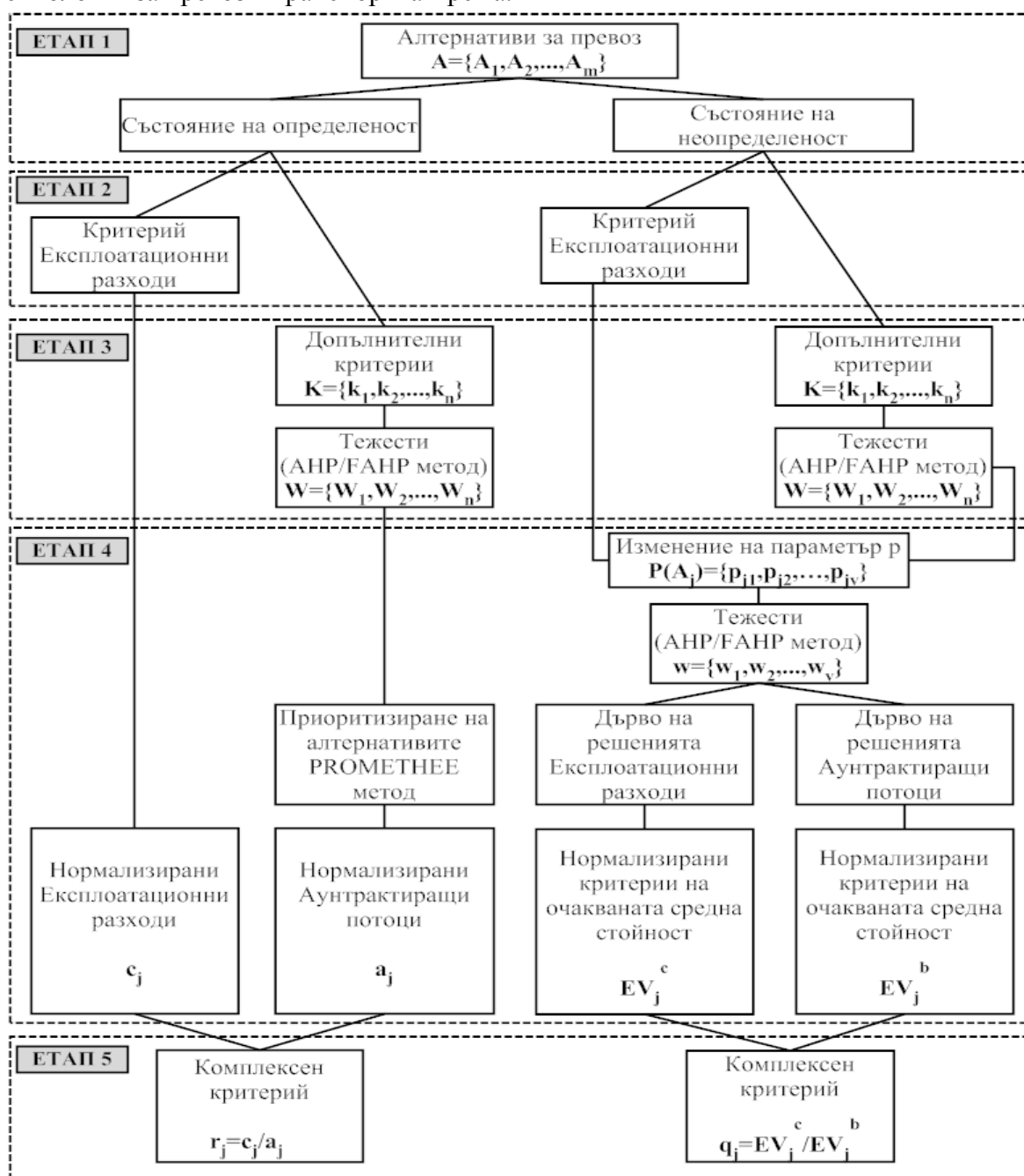
Нормализираните критерии на очакваната средна стойност на експлоатационните разходи и нормализираните критерии на очакваната средна стойност на многокритериалния модел се определят по формулите:

$$(2.62) \quad EV_j^c = \frac{EV_j^c(a_j)}{\sum_{j=1}^m EV_j^c(a_j)}$$

$$(2.63) \quad EV_j^b = \frac{EV_j^b(a_j)}{\sum_{j=1}^m EV_j^b(a_j)}$$

където: EV_j^c са нормализираните критерии на очакваната средна стойност на експлоатационни разходи, определени по метода на Дървото на решенията; EV_j^b са нормализираните критерии на очакваната средна стойност на допълнителните критерии от многокритериалния модел, определени по метода на Дървото на решенията.

На фиг.2.06 е показана обща схема на интегрирания подход за многокритериален избор на технология за превоз в транспортна мрежа.



Фиг. 2.06. Обща схема на комплексната методология за многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа

II.2.8. ПРИМЕР ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕГРИРАНИЯ ПОДХОД ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ИЗБОР НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРЕВОЗ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

II.2.8.1. Състояние на определеност

II.2.8.2. Състояние на неопределеност

Показан е числен пример за прилагане на разработената комплексната методология.

II.3. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА НА КОМПЛЕКСНА МЕТОДОЛОГИЯ ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПРЕВОЗИТЕ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

II.3.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Нека K е множеството на критериите за съставяне на класификация на изследваните единици, а S е множеството на обектите за класификация:

$$(2.64) \quad K = \{k_1, \dots, k_i, \dots, k_n\}$$

където: k са критериите за извършване на класификация; $i = 1, \dots, n$ брой на критериите.

При разработване на многокритериална класификация на превозите основните групи критерии, които трябва да се отчетат са социално-икономически; инфраструктурни; технологични; фактори свързани с превозите.

$$(2.65) \quad S = \{s_1, \dots, s_j, \dots, s_m\}$$

където: s са обектите за класификация; $j = 1, \dots, m$ е броят на обектите за класификация.

Критериите могат да бъдат количествени (т.е. измерими) или качествени.

При съставянето на класификация обектите могат да се класифицират в групи или да се подредят според комплексната оценка на критериите.

Комплексната методология за съставяне на многокритериална класификация на превозите може да се представи със следните основни етапи:

- 1-ви етап. Дефиниране на критерии за класификация.
- 2-ри етап. Определяне на обектите за класификация.
- 3-ти етап. Определяне на целта на класификацията – класифициране в групи (клъстер) или приоритизиране на единиците (подреждане във възходящ ред) по комплексна оценка на дефинираните критерии.

- 4 –ти етап. Провеждане на класификацията.

О При класифициране на обектите в групи подходящият метод за изследване е Клъстерният анализ. При голям брой обекти (над 50) и наличие на корелация между критериите за класификация е подходящо техният брой да бъде намален по метода на Факторния анализ – Главни компоненти, като се определят т.нар. главни компоненти и за тях се приложи методът на Клъстерния анализ за установяване на групите. В противен случай се прилага директно методът на Клъстерния анализ.

О При приоритизиране на обектите е подходящо да се приложи разработеният интегриран научен подход за многокритериален избор на технология за превоз, състоящ се в определяне на теглата на критериите по метода АНР (FАНР) и приоритизиране на обектите по метода PROMETHEE.

II.3.2. КЛАСИФИЦИРАНЕ В ГРУПИ

II.3.2. 1.Метод на главните компоненти за групиране на факторите

По този метод се постига редуциране на броя на началните променливи, чрез групирането на тези, които корелират помежду си в общ фактор, и разделянето на некорелиращите в различни фактори.

II.3.2.2. Метод на Клъстерния Анализ за класификация

При Клъстерния анализ броя на изследваните фактори е по-голям от 2. Целта е да се класифицират изследваните единици в малко на брой взаимно изключващи се групи, наречени клъстери.

II.3.3. Класификация чрез приоритизиране на обектите

В този случай е подходящо да се приложи разработеният интегриран научен подход за многокритериален избор на технология за превоз, състоящ се в определяне на теглата на критериите по метода АНР (FАНР) и приоритизиране на обектите по метода PROMETHEE.

II.4. ИЗВОДИ

1. Разработена е комплексна методология, основана на интегриран научен подход за решаване на проблем, свързан с многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, състоящ се от: разработване на алтернативи за превоз; определяне на експлоатационните разходи на алтернативите, чрез оптимизация на параметрите на технологията за превоз; избор на допълнителни количествени и качествени критерии за оценка на алтернативите; определяне на тежестите на допълнителните критерии по метода на аналитичната йерархия АНР или неговият размит вариант FАНР; приоритизиране на алтернативите по метода PROMETHEE; избор на оптимална алтернатива по въведени комплексни критерии при състояние на определеност и неопределеност на изследваната система, т.II.2.
2. Въведени са комплексни критерии за многокритериален избор на технология за превоз в състояние на определеност и в състояние на неопределеност, формули (2.34), (2.43).
3. Разработена е комплексна методология, основана на интегриран научен подход за многокритериална класификация на превозите в транспортната мрежа, който може да се приложи към различни обекти на изследване в научното направление, т.II.3.
4. Разработената комплексна методология за многокритериален избор на технология за превоз в транспортна мрежа има общ характер на валидност в научното направление, и може да бъде използван съобразно целите на изследването за избор на оптимална технология за превоз по един вид транспорт, или при сравнение между различни видове транспорт.

ГЛАВА III. МЕТОДИКА ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПРЕВОЗИТЕ В ТРАНСПОРТНА МРЕЖА

III.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Обект на изследването за разработване на класификации за оценка на състоянието на превозите са пътническите жп превози и превозите с метрополитен. При разработването на многокритериална система за оценка и избор на технология за превоз за пътническия жп транспорт, създаването на класификация на пътническите жп гари е необходимо за разработване на маршрутизация на превозите; за установяване и съизмерване на развитието на превозите на национално, европейско или друго ниво.

На базата на разработения подход на класификация в глава II в дисертационния труд са съставени класификация на железопътните гари за пътнически превози; класификация на метросистеми и класификация на жп пътнически превози.

III.2. ПОДХОД НА КЛАСИФИКАЦИЯ В ГРУПИ

III.2.1. МЕТОДИКА ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ГАРИ ЗА ПЪТНИЧЕСКИ ПРЕВОЗИ

В железопътната мрежа на България има 307 пътнически гари. Изследването е проведено за 98 гари, разположени по основните железопътни линии. Те се обслужват от всички категории пътнически влакове. Проучването не включва гари, които се обслужват само от обикновени пътнически влакове или крайградски влакове. Целта на изследването е железопътните гари да се систематизират в групи, по които да се формират спиранията на категориите влакове, и да се отчитат при съставяне на схеми за превоз.

Изследването е проведено в следните етапи: избор на критерии за класификация на железопътните гари за пътнически превози, определяне на стойностите на критериите за всяка от гарите, провеждане на факторен анализ по метода на Главните компоненти, провеждане на Клъстерен анализ.

III.2.1.1. Избор на критерии за класификация на железопътните гари за пътнически превози

Методиката на изследването включва:

- Определяне на показатели за изследване на гарите в зависимост от техните характеристики;
- Прилагане на методите за анализ на данни за изучаване на железопътни гари;
- Разработване на класификация на изследваните железопътните гари, по предварително определените показатели.

Железопътната гара се оценява според населеното място, което обслужва. Разгледани са четири групи фактори, свързани с потенциала на населеното място, значението на населеното място като административен, икономически, индустриален и културен център; инфраструктурата на жп гарата и характера на пътуванията.

III.2.1.1.1. Потенциал на населеното място където е разположена гарата. Тази група включва демографски, териториални и социално-икономически фактори

- H_1 - Гъстота на населението, бр. жители / km^2 .
- H_2 – Площ на населеното място, km^2 .
- H_3 - Численост на населението под трудоспособна възраст (между 7 и 18 години), бр. Този фактор определя потенциалния брой клиенти за пътувания, свързани с обучение (ученически пътувания), които ползват и тарифни намаления.
- H_5 - Численост на населението в трудоспособна възраст (между 18 и 65 години), бр. Този фактор дава информация за потенциалния брой клиенти, чиито пътувания са свързани с трудови, студентски, бизнес цели.
- H_5 – Численост на населението в над-трудоспособна възраст (над 65 години). Този фактор показва потенциалния брой клиенти с тарифни намаления за пътуване.
- H_6 - Брой на училищата в населеното място, където се намира гарата. Този фактор определя образователния потенциал на населеното място.
- H_7 – Брой на университетите в населеното място, където се намира гарата. Този фактор също показва образователния статус на населеното място.
- H_8 – Средна работна заплата на населеното място, където е разположена гарата, лв./месец. Този показател дава информация за икономическото ниво на града. Населени места с високо ниво на този показател могат да привличат трудови и бизнес пътувания.

III.2.1.1.2. Значение на населеното място като административен, икономически, индустриален и културен център

- C_1 – Регионален център. Регионът обхваща голяма територия и включва по няколко области. Например България е разделена на 6 региона на планиране, които имат своя икономически регионален център. Това са големи градове с численост на населението над 100 хил. жители. $C_1 = 1$ ако градът е регионален център; $C_1 = 0$ в противен случай.
- C_2 – Областен център. Областта е административно-териториална единица. Например, в България има 28 области. $C_2 = 1$ ако градът е областен център; $C_2 = 0$ в противен случай.
- C_3 – Участие на града като административна и икономическа единица. $C_3 = 1$ ако градът изпълнява функциите на общински, областен или регионален център; $C_3 = 0$ в противен случай.

III.2.1.1.3. Инфраструктурни фактори

- I_1 - Брой приемно-отправни коловози, бр. Този фактор показва възможността на гарата да приема и изпраща влакове и е свързан с възможностите на трафика. Значението на гарата по-отношение разположението ѝ в железопътната мрежа се изразява с факторите I_2 и I_3 .
- I_2 - Възелни гари, които осигуряват връзка между главни жп линии (големи възли). Този фактор показва възможността за трансфер на пътници между железопътните линии. $I_2 = 1$ ако гарата изпълнява тази функция; $I_2 = 0$, в противен случай.

- I_3 - Възелни гари, които осигуряват връзка между главни и второстепенни жп линии, (малки възли). Този фактор показва възможността за трансфер на пътници между пътувания на дълги разстояния и крайградски жп превози. $I_3 = 1$ ако гарата има тази функция; $I_3 = 0$, в противен случай.

III.2.1.1.4. Характеристика на пътуванията (брой на заминалите пътници/ месец)

- P_1 - Брой заминали пътници за месец с бързи и ускорени бързи влакове от гарата за жп мрежа. Този фактор дава информация за междуградските пътувания, които се извършват от гарата, пътн./месец.
- P_2 - Брой заминали пътници за месец с всички категории пътнически влакове. Този фактор показва интензивността на пътуванията от гарата, пътн./месец.
- P_3 - Реализирани пътникокилометри от всички категории пътнически влакове, пътн.км/ месец.
- P_4 - Средно превозно разстояние на пътник, km

III.2.1.2. Определяне на стойностите на критериите за класификация на железопътните гари за пътнически превози

За определяне на стойностите на показателите са използвани осреднени данни за периода от 2010 г до 2014 г за броя на пътниците.

III.2.1.3. Класифициране на критериите по метода на Главните компоненти

За провеждане на изследването по метода на Главните компоненти и метода на Клъстерния анализ е приложен софтуерът SPSS (Statistical Package for Social Science).

Първият компонент включва параметрите на три от изследваните групи: площ на града, km²; брой обучаеми; брой на населението в трудоспособна възраст; брой възрастни граждани; брой училища; брой университети. Вторият компонент включва: гъстота на населението, брой жители/km²; средната работна заплата, лв./месец; областен център; средно превозно разстояние на пътник, км. Третият компонент включва следните параметри: участие на града като административна и икономическа единица; брой приемно-отправни коловози, бр.; възелна гара, която осигурява връзка между основните железопътни линии. Четвъртият компонент включва само един параметър - възелна гара, предоставяща връзка между главни и второстепенни жп линии.

III.2.1.4. Класификация на жп пътнически гари по метода на Клъстерния анализ

В изследването е приложен йерархичен Клъстерен анализ за класификация на изследваните жп гари. За критерии на класификация са използвани четирите главни компонента, получени по метода на главните компоненти. Проведен е дисперсионен анализ по F критерий, който показва, че всички главни компонента са значими.

За основен метод за провеждане на Клъстерен анализ е избран Методът на средно разстояние между групите с измерител Квадратично Евклидово разстояние. В резултат на проведеното изследване и прилагане на Клъстерния анализ, железопътните пътнически гари могат да се класифицират в 6 групи, съответстващи на получените 6 клъстера:

- **Група 1:** Включва най-голямата пътническа гара – Централна гара София.
- **Група 2:** Включва 4 гари, разположени в големи градове с население над 100 хил.жители.
- **Група 3:** Включва 12 гари, които са големи възлови гари.
- **Група 4:** Включва 6 гари, които са малки възлови гари.
- **Група 5:** Включва 16гари. Те са разположени в градове, които са регионални центрове.
- **Група 6:** Включва 56 гари. Тази група се състои от две подгрупи. Първата (клъстер ба), включва градове, които не са общински центрове (10 гари), а втората подгрупа (клъстер бб) включва градове, които са общински центрове.

Гарите от група (клъстер) 1, 2 и 3 обслужват най-високата категория пътнически влакове с намален брой спирания (експресни или т.нар. в Глава IV директни бързи влакове; тази категория се изследва и препоръчва в Глава IV). Гарите от група 1,2,3,4 и 5 се обслужват

от ускорени бързи влакове. Гарите от всички групи (от 1 до 6) се обслужват от бързите влакове.

III.2.1.5. Проверка за адекватност на резултатите

За адекватност на резултатите, получени от Клъстерния анализ проведен по метода на средно разстояние между групите с измерител на различие квадратично евклидово разстояние, е приложен следният подход:

- **Адекватност по измерители:** В този случай се прави сравнение на резултатите по избрания метод на клъстеризация и измерител на различие с клъстеризация по измерител евклидово разстояние;

- **Адекватност по методи:** В този случай се прави сравнение на резултатите по избрания измерител на различие евклидово разстояние и допълнителен измерител квадратично евклидово разстояние с прилагане на метода на вътрешно свързване между групите.

III.2.2. МЕТОДИКА ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТРОСИСТЕМИ

III.2.2.1. Основни положения

Като метрополитен, разположен в Европейска столица, интерес представлява съпоставянето на метрото в София с метрополитените в столиците на европейските държави. Затова е необходимо да се направи класификация, която да определи мястото на Софийския метрополитен, като се приложат два подхода – мрежови и обобщен. Мрежовият подход обхваща показатели, които характеризират инфраструктурните особености и може да се съпостави със съществуващата класификация според вида на маршрутната мрежа, а обобщеният подход включва допълнително и показатели, свързани с пътуванията.

Обект на изследване в дисертационния труд са 22 метрополитена, разположени в столиците на Европейски държави.

III.2.2.2. Избор на показатели за класификация на метромрежи

За целите на изследването показателите се разделят на две групи:

- **Основни показатели.** Тази група обхваща показатели, характеризиращи вида, конструктивните особености на метромрежата и потенциала за пътувания на населеното място.

- **Инфраструктурни показатели.** За тяхното определяне метромрежата се представя във вид на граф и се прилага Теорията на графите.

При провеждане на изследването трябва да се има предвид следните уточняващи дефиниции: метролиния е инфраструктурно изградено трасе, което свързва начален и краен пункт и има определен брой станции; метромаршрут е организация на движението на влаковете между начална и крайна станция и може да обхваща една или повече метролинии. В повечето Европейски метромрежи метромаршрутите съвпадат с метролиниите. В Софийския метрополитен има маршрут, който обхваща две метролинии.

III.2.2.2.1. Основни показатели

А) Вид на метромрежата

Показателите, характеризиращи вида на метромрежата показват до каква степен тя е интегрирана в градската среда и задоволява потребности на града от превози.

Тези показатели са: L е общата дължина на метромрежата, km; n_s е общият брой на станциите в метромрежата; n_L е общият брой на метролиниите в метромрежата; l_n е средната дължина на една метролиния, km; l_s е средното разстояние между станциите, km; S_L е средният брой станции на една метролиния; A е площта на града, km².

Б) Показатели, свързани с конструктивните особености на метромрежата

Тези показатели характеризират конструктивните особености на железният път и електрозахранването, и служат за оценка на начина на изграждане на метромрежата. Показателите, които характеризират инфраструктурата, са: междурелсовото разстояние, mm;

тип на разположение на метролиниите, което може да бъде с ляво, дясно или смесено за различни линии; напрежението на електрозахранването, V ; тип на електрозахранването.

В) Потенциал и плътност на населеното място

Тези показатели характеризират степента на развитие на метромрежата и възможностите за пътувания на населеното място. Изследваните показатели са: P е броят на пътуванията с метрополитен за ден, хил.пътн./ден; H е числеността на населението на града, бр.млн.жители; P_H е въздействието на броя на пътуванията с метрополитен върху числеността на града (подвижност на пътуванията с метрополитен) и показва колко пътувания за ден в метросистемата се падат на един жител на града, бр. пътувания / ден; L_P е въздействието на дължината на метромрежата върху числеността на населението на града, която се изразява като съотношение на дължината на метромрежата и числеността на населението, km/1000жители; P_L е броят на пътниците на километър дължина от метросистемата, млн.пътн./km; N_D е плътността на метромрежата, km/km²; P_A е плътността на пътуванията с метрополитен. Това е броят на пътниците на km² площ на града, млн. пътн./km²; n_A е плътността на метростанциите. Това е броят на метростанциите на km² площ на града, станции/km²; l_A е плътността на метро линиите на km², линии/km².

III.2.2.2.2. Инфраструктурни показатели

При определяне на показателите на метромрежата тя се представя във вид на опростен граф. В [183] са дефинирани следните показатели за оценка на транспортни мрежи: комплексност (Гама индекс), степен на свързаност (Бета индекс) и средна дължина на връзката (Ета индекс) с използването на Теорията на графите. В [183] и [325] тези показатели са приложени за изследване на метромрежи, като са въведени и два нови показателя: директност (Тау индекс) и свързаност (Ро индекс). Основните показатели на състоянието на метромрежата са комплексност и степен на свързаност. Те показват структурните различия между различните мрежи. Посочените по-горе показатели се прилагат в дисертационния труд за класификация на метромрежите.

В посочените показатели не се отчита броят на маршрутите, които преминават по метромрежата. При тях се отбелязва само броят на метролиниите. В общия случай метролиниите съвпадат с метромаршрутите. В някои метромрежи обаче това не е изпълнено. Такава е метромрежата на Софийското метро.

За да се отчете влиянието на метромаршрутите върху транспортната задоволеност се въвеждат допълнителни нови показатели – степен на маршрутизация, свързаност на маршрутите, средна дължина на маршрутната връзка и плътност на маршрутите.

Степента на маршрутизация показва в по-голяма степен транспортната задоволеност на пътниците, ползващи метромрежата.

$$(3.21) \quad g = \frac{i}{3(v-2)}$$

където: g е степента на маршрутизация; i е общият брой дъги на маршрутите в метромрежата; V е общият брой възли в метромрежата.

Свързаността на маршрутите представлява отношението на общия брой маршрутни дъги към общия брой възли в метромрежата.

$$(3.22) \quad b = \frac{i}{v}$$

За коефициентите g и b са валидни следните неравенства:

$$(3.23) \quad g \geq \gamma \quad \text{и} \quad b \geq \beta$$

Средната дължина на маршрутната връзка (отчита се общият брой на маршрутите) представлява отношение на общата дължина на метромрежата към общия брой на маршрутните дъги в метромрежата.

$$(3.24) \quad a = \frac{L}{i}$$

Ниската стойност на коефициента показва наситеност на маршрути в метромрежата.

За коефициента „ a ” е валидно следното неравенство:

$$(3.25) \quad a \leq \eta$$

За метромрежи, за които между два възела не минават повече от две метролинии са в сила следните зависимости:

$$(3.26) \quad g = \gamma ; \quad b = \beta ; \quad a = \eta$$

Плътноста на маршрутите представлява отношение на общия брой на множествените маршрутни дъги към общия брой възли в метромрежата. Този показател изразява плътността на множествените дъги в метромрежата.

$$(3.27) \quad r = \frac{i_M}{v}$$

където: i_M е общият брой множествени маршрутни дъги в метромрежата.

Интензивността на маршрутите е отношението на броя на участъците с множествени маршрутни дъги към общия брой множествени маршрутни дъги в метромрежата. Този показател отчита дъгите, през които минават повече от два маршрута.

$$(3.28) \quad u = \frac{z}{i_M}$$

където: z е броят на участъците с множествени маршрутни дъги.

За метромрежи, където в графовата структура между два съседни възела няма повече от една метролиния е валидно следното:

$$(3.29) \quad u = 0$$

За метромрежи, където в графовата структурата между два съседни възела има една или повече метролинии е валидно следното:

$$(3.30) \quad u = 1$$

III.2.2.3. Определяне на стойностите на показателите за класификация на метромрежи

III.2.2.3.1. Основни показатели

III.2.2.3.2. Инфраструктурни показатели

III.2.2.4. Класификация на метромрежите в европейските столици по инфраструктурни показатели (Мрежови подход)

За класификация на метромрежите, разположени в столиците на европейските държави, е използван методът на йерархичен клъстерен анализ. Поради липса на предварителна информация и специални съображения за формирането на клъстери в съответствие с целите и задачите на изследването за агломеративен метод на йерархично групиране е **избран методът на средното свързване между групите, а за измерител на различие е избран критерият квадратично евклидово разстояние.**

За групирането на метромрежите голямо влияние оказват факторите, определящи състоянието и структурата на метромрежата. Показателят интензивност на маршрутите има стойност под теоретичната. Тъй като проведенният дисперсионният анализ има само информативен характер не следва изключване на този показател от изследването по мрежовия подход.

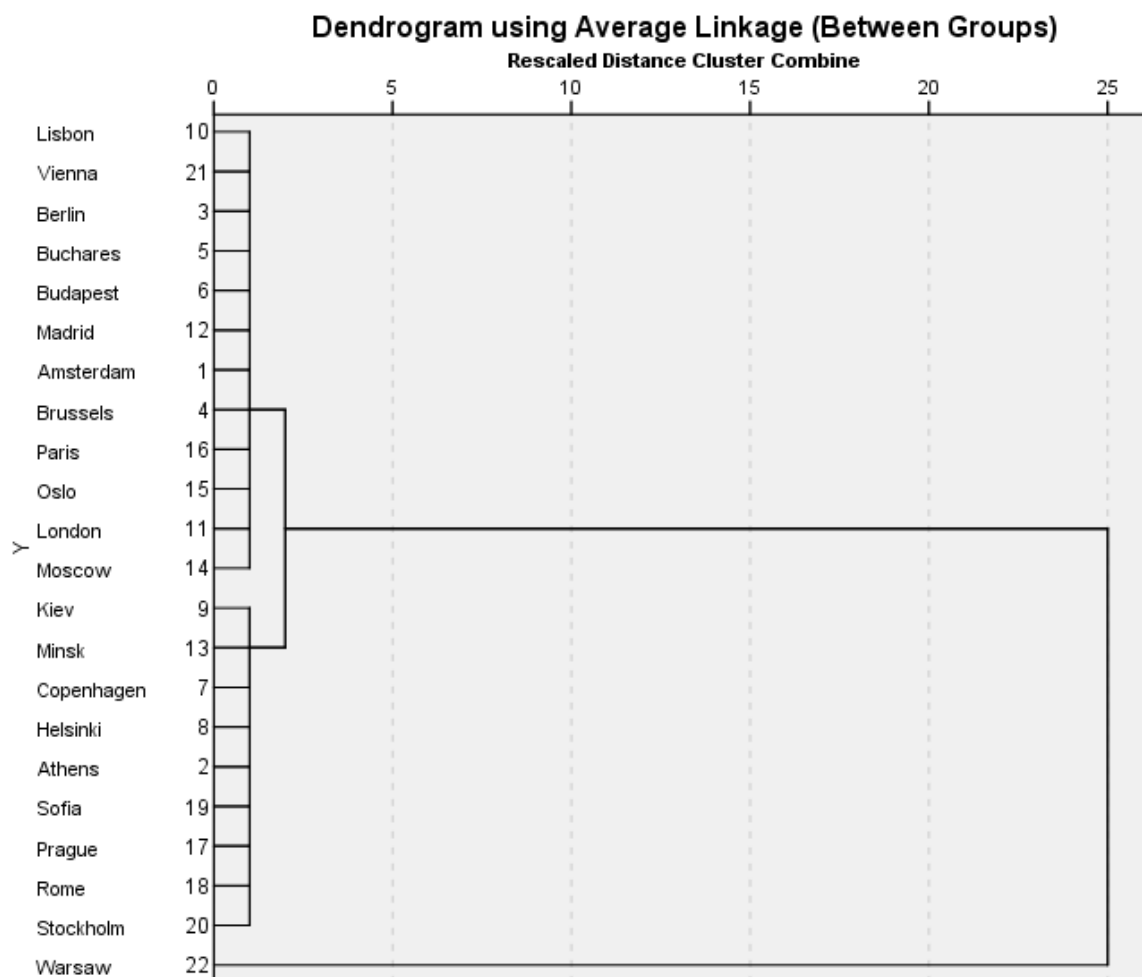
На фиг.3.11 е представена дендрограмата от проведения Клъстерен анализ.

В резултат на прилагане на Клъстерния анализ, метромрежите на европейските столици са класифицирани по инфраструктурни показатели в три класификационни групи:

- **Сложни метромрежи.** В тази клъстерна група влизат 12 метромрежи от изследваните 22 метромрежи разположени в европейските столици. В тази група са Амстердам, Берлин, Брюксел, Букурещ, Будапеща, Лисабон, Лондон, Мадрид, Москва, Осло, Париж и Виена;

- **Прости метромрежи.** В тази клъстерна група влизат 9 метромрежи от изследваните 22 метромрежи разположени в европейските столици. В тази група са Атина, Копенхаген, Хелзинки, Киев, Минск, Прага, Рим, София и Стокхолм;
- **Метромрежи с една метролиния.** В тази клъстерна група влиза само метромрежата на град Варшава.

Разработената класификация по мрежовия подход е алтернатива на характеризирането на метромрежите, според вида на транспортната мрежа, като радиална (диаметрална), кръгова, правоъгълна, смесена, произволна и др. Определено е мястото на Софийския метрополитен към групата на простите метромрежи.



Фиг.3.11. Дендрограма на клъстеризацията на метромрежите по инфраструктурни показатели по Метод на средното свързване между групите с измерител на различие квадратично евклидово разстояние

III.2.2.5. Класификация на метромрежите в европейските столици по основни и инфраструктурни фактори (Обобщен подход)

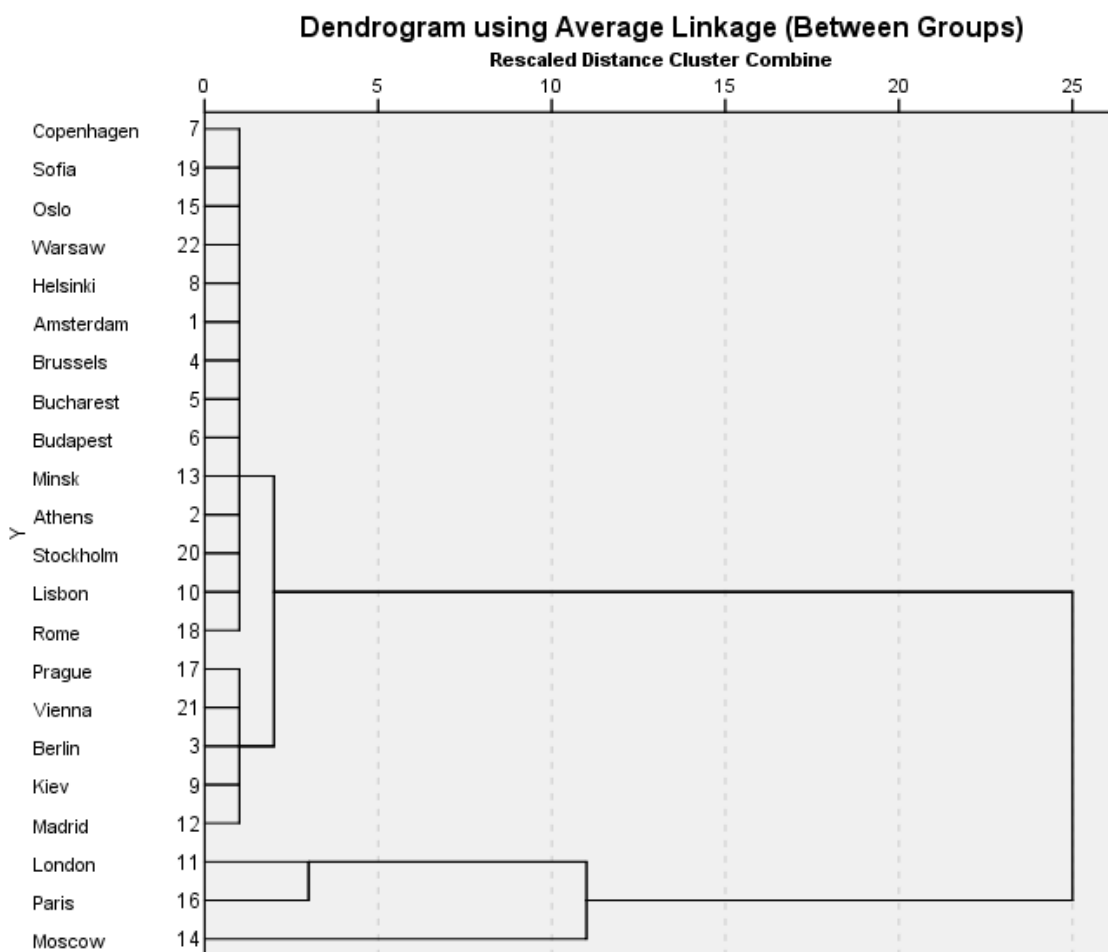
При обобщения подход Клъстерният анализ е приложен за класифициране на метромрежите, разположени в столиците на европейските държави, по всички основни и инфраструктурни показатели. За йерархично групиране отново е приложен **методът на средното свързване между групите**, а за измерител на различие е избран **критерият квадратично евклидово разстояние**.

Проведеният дисперсионен анализ показва, че за групирането на метромрежите голямо влияние оказват факторите определящи, състоянието и структурата на метромрежата, определени по теория на графите. Важно значение за класификацията имат и показателите обща дължина на метромрежата, брой метростанции, брой метролинии, средна дължина на една метролиния, площ на града, брой пътници с метрополитена за ден, брой жители в града.

На фиг.3.13 е представена дендрограмата от проведеното изследване по обобщения подход. В резултат на прилагане на Клъстерния анализ по обобщения подход, метромрежите на европейските столици са класифицирани в четири класификационни групи:

- **В първа клъстерна група** е метромрежата на Москва;
- **Във втора клъстерна група** са метромрежите на Лондон и Париж;
- **В трета клъстерна група** влизат 5 метромрежи: Прага, Виена, Берлин, Киев и Мадрид;
- **В четвърта клъстерна група** влизат 14 метромрежи. В тази група е и Софийския метрополитен. В групата са метромрежите още и на Атина, Копенхаген, Хелзинки, Минск, Рим, Стокхолм, Амстердам, Брюксел, Букурещ, Будапеща, Лисабон, Осло и Варшава.

Третата и четвъртата клъстерни групи са със сравнително хомогенни структури, и с равно разстояние между елементите.



Фиг.3.13. Дендрограма на клъстеризацията на метромрежите по основни и инфраструктурни фактори по Метод на средното свързване между групите с измерител на различие квадратично евклидово разстояние

Разработената класификация на метрополитените на Европейските столици по обобщения подход дава комплексна оценка за нивото на развитие на изследваните системи. Клъстеризацията е направена с използването на 24 разнородни по своята същност и дименсия показатели.

III.2.2.6. Верификация на резултатите

За верификация на резултатите, получени от Клъстерния анализ проведен по Метода на средно разстояние между групите с измерител на различие квадратично евклидово разстояние, е приложен следният подход:

- **Верификация по измерители:** В този случай се прави сравнение на резултатите по избрания метод на клъстеризация и измерител на различие с клъстеризация по измерителят Евклидово разстояние;
- **Верификация по методи:** В този случай се прави сравнение на резултатите по избрания измерител на различие квадратично евклидово разстояние с клъстеризация по следният друг метод - Центроиден метод.

Резултатите от използваните различни агломеративни методи за верификация на „Метода на средно разстояние между групите” с измерител на различие квадратично евклидово разстояние показват, че избраният метод и измерител на разстояние са адекватни за проведеното изследване, тъй като се получава идентично разпределение в клъстери.

Проведената верификация показва, че измерителя евклидово разстояние дава потвърдителни резултати, че измерителят на различие квадратично евклидово разстояние е подходящо избран за провеждане на изследването на метромрежите по обобщения подход.

III.3. КЛАСИФИКАЦИЯ ЧРЕЗ ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА ОБЕКТИТЕ

III.3.1. МЕТОДИКА ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПЪТНИЧЕСКИЯ ЖП ТРАНСПОРТ

Изследването на развитието на железопътния транспорт в различните страни на Европейския съюз е от съществено значение за транспортната политика както на национално, така и на международно равнище. Обект на изследване са пътническите жп превози в 28 държави от Европейския съюз. Целта е те да се класифицират, като се приложи многокритериален подход.

Интегрираният научен подход за съставяне на многокритериална класификация на превозите, изложен в гл. II за провеждане на изследването, може да се представи със следните основни етапи:

- 1-ви етап. Дефиниране на критерии за оценка на развитието на железопътния пътнически транспорт.
- 2-ри етап. Определяне на тежестите на критериите чрез многокритериален анализ по метода FАНР.
- 3-ти етап. Приоритизиране (подреждане на държавите във възходящ ред) по метода PROMETHEE.
- 4 –ти етап. Верификация на резултатите чрез прилагане на клъстърен анализ.

III.3.2. ДЕФИНИРАНЕ НА КРИТЕРИИ ЗА КЛАСИФИКАЦИЯ

За оценка на пътническите жп превози са въведени четири групи основни критерии: социални и икономически фактори; инфраструктурни фактори; фактори, свързани с пътуването; технологични фактори. За всеки от тези критерии са определени под-критерии:

- F_1 – Социално-икономически фактори. Тези фактори показват икономическото равнище на страните. В тази група са включени следните под-критерии:
 - f_{11} – Брутен вътрешен продукт (БВП), милиард евро/год. Той е показател за икономическото развитие на дадена страна, както и за жизнения стандарт на страната.
 - f_{12} – Брутен вътрешен продукт на човек от населението, евро/год. Този показател показва нивото на икономическото развитие на страните, и може да се използва за сравняване на една страна с друга.
 - f_{13} – Инфраструктурни такси, евро/влак.км. Железопътните превозвачи плащат инфраструктурни такси на управителите на инфраструктурата за използването ѝ. Размерът на инфраструктурните такси е показател за икономическото равнище на железопътния транспорт и поддържането на железопътната инфраструктура.
- F_2 – Инфраструктурни фактори. Тези фактори показват степента на развитие на железопътната инфраструктура. Под-критериите за тази основна група са:
 - f_{21} – Дължина на железопътната мрежа, km. Този фактор включва дължината на всички жп линии, по които се осъществяват пътнически превози в жп мрежата.

- f_{22} – Коефициент на електрифицираните жп линии. Този показател се изчислява, като се раздели дължината на електрифицираните железопътни линии на общата дължина на железопътната мрежа. Това е мярка за развитието на железопътния транспорт.
- f_{23} – Плътност на железопътната мрежа, km/km². Този показател показва степента на развитие на железопътния транспорт и показва колко километра железопътна мрежа има на площ от един квадратен километър.
- f_{24} – Наличие на високоскоростно обслужване. Високоскоростните влакове обикновено се движат по специална инфраструктура и обикновено спират само в големи градски агломерации. Този показател може да има стойности 0 или 1. $f_{24} = 1$, ако страната има високоскоростна железопътна услуга. $f_{24} = 0$, в противен случай.
- f_{25} – Брой възелни гари. Това са големи железопътни гари, които са и транспортни центрове, където се осъществява връзка между влаковете от различни направления.
- F_3 – Фактори, свързани с пътуването. Те показват степента на използване на железопътния транспорт от пътниците. В тази основна група са включени следните под-критерии:
 - f_{31} – Брой превозени пътници годишно, хил.пътн./год. Тук се включват пътниците, пътуващи в различни категории влакове.
 - f_{32} – Брой пътнички километри годишно, милиони пътн.км./год. Този фактор показва използването на пътническия жп транспорт.
 - f_{33} – Плътност на пътуванията. Този показател се определя като отношение на броя на превозените пътници за година към числеността на населението. Той показва степента на използване на железопътния пътнически транспорт.
 - f_{34} – Средно превозно разстояние на един жител, km. Този показател е съотношение на пътнички километрите за година върху броя на жителите. Той показва средното разстояние, изминато от пътниците.
 - f_{35} – Интензивност на пътуванията, пътн./км. Този показател изразява броя на пътниците на ден за километър от железопътната мрежа.
- F_4 – Технологични фактори. Тези фактори показват оперативната ефективност и качеството на железопътните пътнически услуги. Под-критериите, които са включени в тази група, са:
 - f_{41} – Брой на влаккилометри годишно от пътнически превози, хиляди пътн.км./год. Това е показател за това как железопътната мрежа се използва на националния пазар на пътници.
 - f_{42} – Интензивност на използване на мрежата на пътниците. Интензитетът на ползване на пътническия трафик се изчислява чрез разделяне на влаккилометрите на ден на дължината на железопътната мрежа, при което се получава средният брой влакове на километър на ден. Това показва интензивността, с която пътническият пазар използва железопътната мрежа.
 - f_{43} – Среден брой пътници на влак. Този показател се определя, като се раздели броят на пътнички километрите на броя на влаккилометрите. Той представя броя на пътниците с влак и е мярка за оперативната ефективност.
 - f_{44} – Интензивност на инцидентите. Този коефициент се определя, като се раздели интензивността на използване на пътническата мрежа на броя инциденти с пътнически влакове на ден. Това е мярка за безопасност и сигурност в железопътния транспорт.

III.3.3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕЖЕСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ

Съгласно разработеният научен подход в гл. II тежестите на критериите се определят по размития метод на аналитичната йерархия ФАНР. Сравнението по двойки е направено от 7

експерта, които са професионалисти с опит в железопътния пътнически транспорт повече от 20 години. В табл.3.20 са показани стойностите на глобалните тегла на под-критериите.

Табл.3.20. Глобални тегла на под-критериите

Критерий	Под-критерии	Тегло
F_1	Брутен вътрешен продукт (GDP), млрд. евро/год.	f_{11} 0,07
	Брутен вътрешен продукт на човек от населението (PPP), млрд. евро/год.	f_{12} 0,05
	Инфраструктурни такси, евро/влкм	f_{13} 0,03
F_2	Дължина на жп мрежа, km	f_{21} 0,08
	Коефициент на електрифицирани жп линии	f_{22} 0,04
	Плътност на жп мрежа, km/km ²	f_{23} 0,04
	Наличие на високоскоростно обслужване	f_{24} 0,06
	Брой възлови гари	f_{25} 0,02
F_3	Брой превозени пътници, хил.пътн./год.	f_{31} 0,10
	Пътникокилометри, млн.пътн.км./год.	f_{32} 0,08
	Плътност на пътуванията	f_{33} 0,06
	Средно превозно разстояние на човек от населението, km	f_{34} 0,05
	Интензивност на пътуванията, пътн./км	f_{35} 0,03
F_4	Влаккилометри, хил.вл.км./год.	f_{41} 0,11
	Интензитетът на ползване на пътническия трафик	f_{42} 0,08
	Среден брой пътници във влак	f_{43} 0,07
	Интензивност на инциденти	f_{44} 0,03

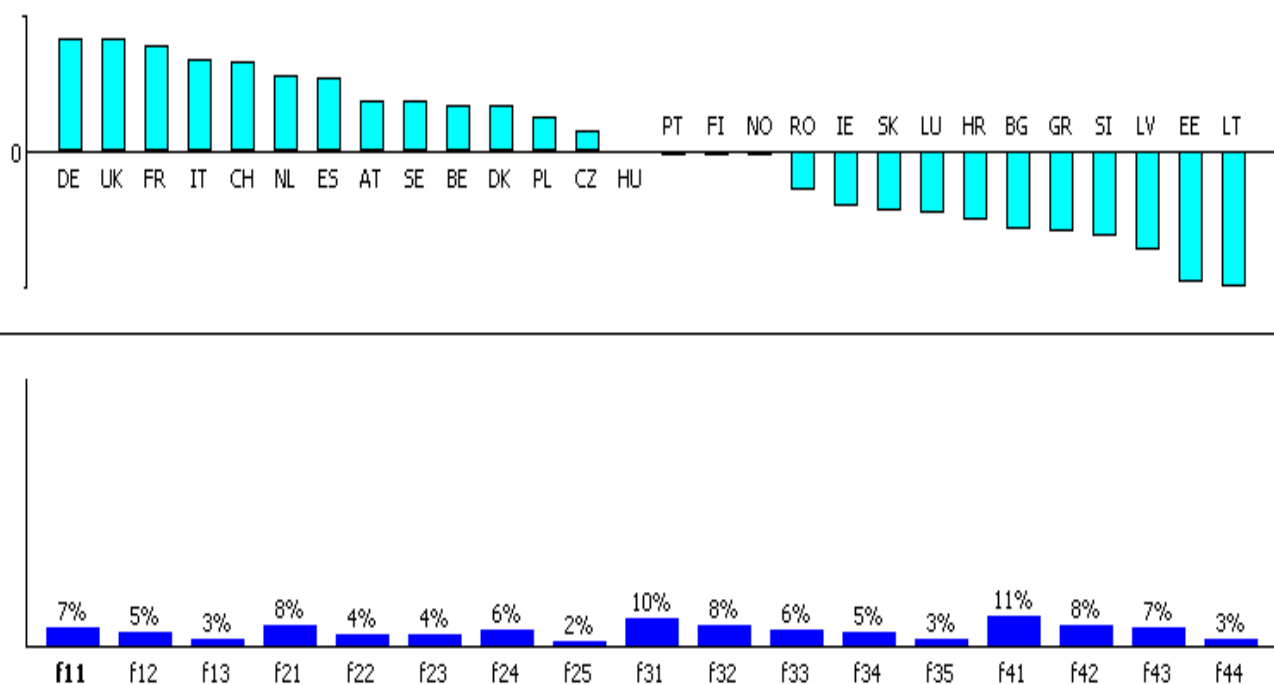
Глобалните тегла показват приоритета на всички под-критерии, отчитайки теглата на основните критерии. Най-голямо значение имат под-критериите изминати влаккилометри (0,11); брой превозени пътници (0,10); дължина на жп мрежата (0,08); пътникокилометри (0,08); интензитет на пътническия трафик (0,08); брутен вътрешен продукт (0,07).

III.3.4. КЛАСИФИКАЦИЯ ПО МЕТОДА PROMETHEE

За определяне на стойностите на критериите и под-критериите за изследваните държави е създадена база данни за десетгодишен период от 2005 до 2014 г. За изследването е използвана средната стойност за всеки критерий и под-критерий. В изследването е включена и Великобритания, тъй-като за периода на изследване е била член на Европейския съюз.

Приоритизирането на пътническия железопътен транспорт на страните от Европейския съюз е извършено по метода PROMETHEE. Изследването е направено с Visual PROMETHEE Software. На фиг.3.19 са показани резултатите, получени чрез софтуера Visual PROMETHEE, като в горната част на фигурата е показано приоритизирането по нетните аутранкиращи потоци, а в долната част са показани теглата на критериите.

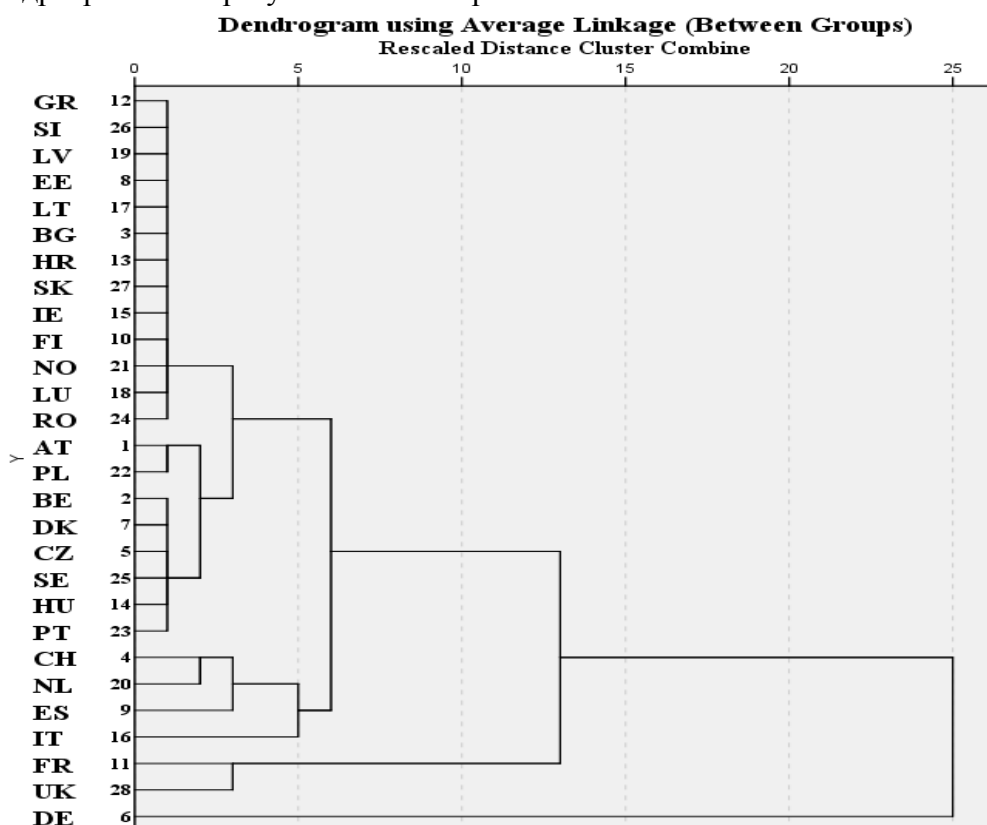
Резултатите показват, че най-силно развит железопътен пътнически транспорт, като се имат предвид всички фактори, е в Германия, Великобритания и Франция. В следваща група държави с развит железопътен пътнически транспорт са Италия, Швейцария, Холандия и Испания. От табл.3.22 може да се види, че тези седем страни имат нетен аутранкиращ поток $\phi > 0,4$. Тези резултати са подобни на класацията, направена в [319, 180, 414], които също поставят на тези позиции посочените по-горе държави, въпреки че авторите изследват общо пътнически и товарен железопътен транспорт. За оценка на резултатите е проведен анализ на чувствителността.



Фиг.3.19. Приоритизиране в Visual PROMETHEE

III.3.5. ВЕРИФИКАЦИЯ ЧРЕЗ КЛЪСТЪРЕН АНАЛИЗ

За верификация на резултатите е приложен йерархичен клъстерен анализ по метода на средното разстояние на групите и измерител квадратично евклидово разстояние. На фиг. 3.20 е показана дендрограма за образуваните клъстери и съответните им елементи.



Фиг.3.20.Дендрограма в среда SPSS

Резултатите от дисперсионния анализ показват, че най-голямо въздействие върху класификацията имат факторите: брой превозени пътници годишно (f_{31}), брой изминати влакилометри годишно (f_{41}), брой пътничкилометри годишно (f_{32}), брутен вътрешен продукт (f_{11}), милиард евро/година, дължина на железопътната мрежа, km (f_{21}). Резултатите

за важността на под-критериите, изразени чрез глобалните им тегла, получени по метода ГАНР и от дисперсионния анализ при прилагане на метода на Клъстерния анализ, са сходни. Резултатите показват, че железопътните пътнически системи на разглежданите европейски държави могат да бъдат класифицирани в пет групи:

- **1 – ва група:** Този клъстер включва Германия.
- **2 – ра група:** Този клъстер включва Великобритания и Франция.
- **3 – та група:** Този клъстер включва 4 държави - Италия, Испания, Холандия и Швейцария.
- **4 – та група:** Този клъстер включва 8 държави - Белгия, Дания, Чехия, Швеция, Унгария, Португалия, Австрия и Полша.
- **5 – та група:** Този клъстер включва 13 държави - Румъния, Люксембург, Норвегия, Финландия, Ирландия, Словакия, Хърватия, България, Литва, Естония, Латвия, Словения и Гърция.

Въпреки, че чрез Клъстерния анализ се дава групиране на страните, докато по методиката с прилагането на многокритериален анализ се прави приоритизиране, резултатите от двата подхода са сходни, което показва адекватността на получените резултати.

III.4. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

III.4.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. На основата на разработения в Глава II интегриран научен подход за класификация са създадени нови класификации в научното направление.
2. Дефинираните четири групи показатели за класификация на пътническите жп гари: потенциал на населеното място; значение на населеното място, като административен, икономически, индустриален и културен център; инфраструктурни фактори; характеристика на пътуванията, позволяват гарите да се характеризират според важността им при маршрутизацията на превозите, (т. III.2.1.1).
3. Разработена е методика за класификация на железопътните гари за пътнически жп превози, основана на комбиниран метод – Факторен анализ по метода на Главните компоненти и Йерархичен клъстерен анализ по метода на „Средно между групово разстояние“ и измерител за различие „Квадратично Евклидово разстояние“, която дава възможност да се определят пунктовете на обслужване от различни категории пътнически влакове при маршрутизация на пътническите железопътни превози, т. III.2.1.
4. Извършена е верификация на получените резултати от методиката за класификация на железопътните гари по измерителя Евклидово разстояние, и по метода на „Вътрешно групово свързване“ и измерител Евклидово разстояние и Квадратично Евклидово разстояние, (III.2.1.5.). Резултатите показват, че избраният метод на средното свързване между групите и измерител квадратично евклидово разстояние са адекватни за проведеното изследване, тъй като се получават идентични разпределения на гарите в клъстерите.
5. Разработена е методика за класификация на метросистеми, съдържаща дефиниране на показатели за класификация и провеждане на йерархичен клъстерен анализ по метода на средното свързване между групите и измерител на разстояние Квадратично евклидово разстояние за групиране на изследваните обекти, т. III.2.2.
6. Дефинирани са две групи показатели за извършване на класификацията на метросистемите – основни и инфраструктурни, които позволяват да се направи оценка за нивото на развитие на изследваните системи, (т. III.2.1.2.). За определяне на инфраструктурните показатели, метромрежите са представени във вид на граф и е приложена Теорията на графите, т. III.2.1.2.).
7. Въведени са нови показатели за оценка на маршрутизацията на метромрежите – степен на маршрутизация (3.21), свързаност на маршрутите (3.22), средна дължина на

маршрутната връзка (3.24), плътност на маршрутите (3.27), интензивност на маршрутите, (3.28).

8. Представени са два подхода на класификация на метросистеми – мрежови и обобщен. Мрежовият подход обхваща показатели, които характеризират инфраструктурните особености на метромрежата, а обобщеният подход включва допълнително и показатели, свързани с пътуванията. Мрежовият подход на класификация е алтернатива на характеризирането на метромрежите, според вида на транспортната мрежа, като радиална (диаметрална), кръгова, правоъгълна, смесена, произволна и др. За разлика от класификацията според вида на транспортната мрежа, която отчита само формата на мрежата, мрежовия подход отчита инфраструктурните особености на обектите.
9. Проведена е верификация на класификациите на метромрежите по два подхода – по измерители на разстояние и по методи, (т. III.2.6). Резултатите показват, че избраният метод на средното свързване между групите и измерител квадратично евклидово разстояние са адекватни за проведеното изследване.
10. Дефинирани са 4 групи основни критерии и 17 под-критерии за изследване на пътническите жп превози, които позволяват да се направи комплексна оценка за нивото на развитие на изследваните жп пътнически системи, (т. III.3.2).
11. Разработена е методика за класификация на пътнически железопътни превози, съдържаща дефиниране на показатели за класификация и прилагане на комбиниран многокритериален подход, т. III.3.1.
12. Извършена е верификация на разработената класификация на пътническите железопътни превози по многокритериалния модел, с прилагане на метода на Клъстерен анализ, (т. III.3.5). Установено е, че дана подхода дават сходни резултати. Изследванията показват, че пътническият железопътен транспорт в страните от Европейския съюз може да бъде класифицирани в 5 групи.
13. Разработената методика за класификация на жп гари за пътнически превози може да се приложи и за жп мрежи разположени в други държави. Разработената методика за класификация на метросистеми може да се приложи за класификация и анализ на различни метрополитени. Класификацията на европейските държави може да се използва за да се сравни нивото на развитие на пътническия железопътен транспорт, както и да помогне на железопътните компании да анализират състоянието на транспорта и вземането на решения относно технологията за превоз, развитието на железопътния пътнически транспорт и разширяването на услугите.

III.4.2. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Разработена е класификация на пътническите жп гари в националната жп мрежа по 17 показателя, редуцирани до 4 броя главни компонента.
2. Жп гарите за пътнически превози са класифицирани в 6 групи, т. III.2.1.4. Класификацията е насочена към определяне на спиранията на различните категории пътнически влакове. Жп гарите от групите от 1 до 3 се обслужват от категория влак с намален брой спирания – експресен влак (директен бърз влак). Жп гарите от групите от 1 до 5 се обслужват от ускорен бърз влак. Жп гарите от групи от 1 до 6 се обслужват от бързи пътнически влакове.
3. Разработена е класификация на метромрежите на 22 Европейски столици по мрежовия подход с прилагане на 10 инфраструктурни показателя, определени по Теория на графите. Метромрежите са класифицирани в три групи - метромрежи с една линия, прости метромрежи и сложни метромрежи, (III.2.4.), фиг.3.11, фиг.3.12. Определено е мястото на Софийския метрополитен към групата на простите метромрежи.
4. Разработена е класификация на метромрежите на 22 Европейски столици по обобщения подход по 24 показателя, при който те се класифицират в четири групи, (III.2.5), фиг.3.13, фиг.3.14. Определено е мястото на Софийския метрополитен в четвърта група.

5. Разработена е класификация на пътните жп превози в 28 Европейски държави, (т. III.3.4). Проведеното изследване показва, че Германия, Великобритания и Франция имат най-силно развитият железопътен пътнически транспорт. Железопътните пътнически системи на разглежданите европейски държави са класифицирани в пет групи. Определено е мястото на България в пета група.
6. Установено е, че най-голямо значение за класификацията на пътните жп превози имат под-критериите: изминати влаккилометри (0,11); брой превозени пътници (0,10); дължина на жп мрежата, пътничкилометри, интензитет на пътния трафик (0,8); брутен вътрешен продукт (0,7).
7. Установено е, че за групирането на метромрежите голямо влияние оказват факторите определящи, състоянието и структурата на метромрежата, определени по теория на графите. Важно значение за класификацията имат и показателите обща дължина на метромрежата, брой метростанции, брой метролинии, средна дължина на една метролиния, площ на града, брой пътници с метрополитена за ден, брой жители в града.
8. Установено е, че четирите главни компонента, които представят комплексното влияние на въведените критерии за класификация на пътните жп гари, са значими.

ГЛАВА IV. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ СХЕМАТА НА ПРЕВОЗ В ПЪТНИЧЕСКИЯ ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ТРАНСПОРТ

IV.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Целта на изследването е да се разработи комплексна методика за оптимизация на маршрутизацията на пътните железопътни превози, отчитаща комплекс от фактори, и да се изследват варианти на маршрутизация на бързи пътнически превози по основни жп линии. За постигането на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи, които се явяват основните стъпки на комплексната методика:

- Разработване на вариантни схеми за превоз.
- Разработване на оптимизационен модел на превозите, базиран на теорията на размитите множества, по критерий минимум преки експлоатационни разходи.
- Оптимизиране на връзките на влаковете във възелните гари с отчитане на неопределеността на процесите, базирано на теорията на размитите множества.
- Дефиниране на допълнителни критерий за оценка на вариантите схеми. Определяне на тежестите на допълнителните критерии чрез многокритериален анализ по размития метод на Аналитичната йерархия (Fuzzy AHP).
- Приоритизиране на вариантите схеми чрез многокритериален анализ по метода PROMETHEE.
- Избор на оптимална схема за превоз по комплексен критерий.

IV.2. РАЗРАБОТВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ПРЕВОЗИТЕ ПО КРИТЕРИИ ЕКСПЛОАТАЦИОННИ РАЗХОДИ ОСНОВАН НА ТЕОРИЯТА НА РАЗМИТИТЕ МНОЖЕСТВА

IV.2.1. МАТЕМАТИЧЕСКА ФОРМУЛИРОВКА

В първата фаза на процеса на определяне на оптималната организация на пътните жп превози е необходимо да се разработят схеми за вариантни за организация по категории влакове, които да се сравняват по критерий минимални преки експлоатационни разходи за транспорт. За всяка вариантна схема се прилага индивидуално линеен модел за оптимизация, по критерий минимум преки експлоатационни разходи.

IV.2.1.1. Линеен оптимизационен модел, основан на теорията на размитите множества. Представяне, чрез функцията на принадлежност

Оптимизационната функция е:

$$(4.01) \quad R_f = \sum_{q=1}^n \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} r_{i_{qf}} \cdot x_{i_{qf}} \rightarrow \min, \text{ лв./ден}$$

$$(4.02) \quad R_{opt} = \min\{R_1, \dots, R_f\}, \text{ лв./ден}$$

където: f е броят на вариантите схеми, $f = 1, \dots, F$; $q = 1, \dots, n$ е броят на категориите

влакове; $i_{qf} = 1, \dots, I_{qf}$ са броят на назначенията (маршрути) за влак от категория q за вариантна схема f ; $r_{i_{qf}}$ са преките експлоатационни разходи за влак от маршрут i , категория q и вариантна схема f , лв./вл.; $x_{i_{qf}}$ е броят на влаковете от маршрут i , категория q и вариантна схема f .

Оптимизационната функция (4.04) определя оптималния план на превозите, който осигурява реализиране на бързи пътнически превози с минимални преки експлоатационни разходи.

Ограничителните условия са:

$$(4.03) \quad \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} \geq \tilde{P}_{jk,q}, \text{ бр. пътн./ден}$$

$$(4.04) \quad \sum_{q=1}^n \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} < N_{jk,max}, \text{ бр.вл./ден}$$

$$(4.05) \quad x_{i_{qf}} \geq M_{i_{qf}}, \text{ бр.вл./ден}$$

$$(4.06) \quad x_{i_{qf}} \geq 0, \text{ бр.вл./ден}$$

където: $\tilde{\alpha}_{i_{qf}}$ – коефициентът на използване на местата за влакове от маршрут i , категория q и вариантна схема f ; $a_{i_{qf}}$ – броят на местата във влак категория q ; γ_{jk} – коефициентът, който отчита възможността влакове от маршрут i да обслужват участъка между гари j и k ; $\tilde{P}_{jk,q}$ – „размитите“ стойности на пътникопотоците за участък формиран между две съседни гари j и k , които използват влак от маршрут i , категория q , които се моделират с размити числа, показващи най-високо и най-ниско приемливо ниво на пътникопотока, пътн./ден; $N_{jk,max}$ – максималният влаков капацитет между две съседни гари j и k , вл./ден; $M_{i_{qf}}$ – минималният брой влакове от маршрут i , категория q и вариантна схема f , вл./ден.

Условие (4.03) означава осигуряване на място за сядане на всеки пътник във всяко сечение на железопътната мрежа. Условие (4.04) означава, че броят на влаковете не може да превишава максималния влаков капацитет за жп съответната линия. Условие (4.05) означава, че за някои от назначенията, обслужващи големи административни и стопански центрове може да се зададе допълнително ограничение за честота на транспортните връзки. Условие (4.06) означава, че броят на влаковете трябва да е положително и цяло число.

При размития линеен оптимизационен модел оптимизационната функция и /или ограничителните условия отразяват неопределеността на изследваните процеси и се задават чрез теорията на размитите множества.

Размиването на изследваните параметри се представя чрез функцията на принадлежност (на английски: membership function). В размитата логика, функцията на принадлежност изразява степента на истинност на дадено твърдение с число в интервала $[0, 1]$. В изследването е използвана линейна функция на принадлежност.

Оптимизационната функция R_f се представя чрез функция на принадлежност в следния вид:

$$(4.07) \quad \mu_{R_f} = \begin{cases} 1, & \text{if } R_f \leq R_{f,L} \\ \frac{R_{f,U}-R_f}{R_{f,U}-R_{f,L}}, & \text{if } R_{f,L} \leq R_f \leq R_{f,U} \\ 0, & \text{if } R_f \geq R_{f,U} \end{cases}$$

където: $R_{f,U}$, $R_{f,L}$ – са най-високите и най-ниските приемливи нива на оптимизационната функция, които могат да бъдат постигнати с индивидуална оптимизация, съответно с максимален и минимален пътникопоток на размитите числа на пътникопотока.

За ограничителните условия (4.01) функция на принадлежност е:

$$(4.08) \mu_{P_f} = \begin{cases} 1, \text{ if } \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} \geq P_{jk,q,U} \\ \frac{\sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} - P_{jk,q,L}}{P_{jk,q,U} - P_{jk,q,L}}, \text{ if } P_{jk,q,L} < \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} < P_{jk,q,U} \\ 0, \text{ if } \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} \leq P_{jk,q,L} \end{cases}$$

където: $P_{jk,q,U}, P_{jk,q,L}$ са най-високите (горни граници) и най-ниските (долни граници) приемливи нива на размитите количества от пътничкопотока в участъка, образуван между две съседни j и k , обслужвани от влак от маршрут i , категория q ; пътн./ден.

Решаването на размития линеен оптимизационен модел се извършва чрез въвеждане на нова променлива λ . Представения от (4.01) до (4.06) математически модел се преобразува в размит линеен оптимизационен модел в следния вид:

$$(4.09) \max \lambda$$

$$(4.10) \lambda \leq \mu_{R_f} = \frac{R_{f,U} - R_f}{R_{f,U} - R_{f,L}}, \text{ за оптимизационната функция}$$

$$(4.11) \lambda \leq \mu_{P_f} = \frac{\sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} - P_{jk,q,L}}{P_{jk,q,U} - P_{jk,q,L}}, \text{ за всяко ограничително условие (4.03)}$$

$$(4.12) 0 \leq \lambda \leq 1$$

и ограничителни условия (4.04), (4.05) и (4.06).

За коефициента на използване на местата за всеки маршрут се задават триъгълни размити числа:

$$(4.13) \tilde{\alpha}_{i_{qf}} = (\alpha_{i_{qf}}^l, \alpha_{i_{qf}}^m, \alpha_{i_{qf}}^u)$$

където: $\alpha_{i_{qf}}^l, \alpha_{i_{qf}}^m, \alpha_{i_{qf}}^u$ са съответно долната граница, размитата средна и горната граница на триъгълните размити числа.

Функциите на принадлежност за всеки коефициент на използване на местата за изследваните маршрути и категории влакове се представят в следния вид:

$$(4.14) \mu_{\alpha_{i_{qf}}^{TT}} = \begin{cases} 0, \text{ if } \alpha_{i_{qf}} < \alpha_{i_{qf}}^l \\ \frac{\alpha_{i_{qf}} - \alpha_{i_{qf}}^l}{\alpha_{i_{qf}}^m - \alpha_{i_{qf}}^l}, \text{ if } \alpha_{i_{qf}}^l \leq \alpha_{i_{qf}} \leq \alpha_{i_{qf}}^m \\ \frac{\alpha_{i_{qf}}^u - \alpha_{i_{qf}}}{\alpha_{i_{qf}}^u - \alpha_{i_{qf}}^m}, \text{ if } \alpha_{i_{qf}}^m \leq \alpha_{i_{qf}} \leq \alpha_{i_{qf}}^u \\ 0, \text{ if } \alpha_{i_{qf}} > \alpha_{i_{qf}}^u \end{cases}$$

Дефъзификацията е процес на преобразуване на размития вид в точни стойности. В изследването триъгълните размити числа на коефициентите на използване на местата се преобразуват в точни стойности чрез дефъзификация по следната формула

$$(4.15) \alpha_{i_{qf}} = \frac{\alpha_{i_{qf}}^l + \alpha_{i_{qf}}^m + \alpha_{i_{qf}}^u}{3}$$

IV.2.1.2. Линеен оптимизационен модел, основан на теорията на размитите множества. Представяне, чрез параметрично линейно оптимизиране

Размитият линеен оптимизационен модел може да се реши посредством параметрично линейно оптимизиране. В този случай се задават стойности на параметър β , чрез които се сформират група решения. Оптимизационната функция е същата както формула (4.01). Разликата между най-високото и най-ниското приемливо ниво на пътничкопотока е:

$$(4.16) d_{jk,q} = P_{jk,q,U} - P_{jk,q,L}, \text{ пътн./ден}$$

Ограничителните условия (4.03) се представят във вида:

$$(4.17) \sum_{i_{qf}=1}^{I_{qf}} x_{i_{qf}} \cdot \tilde{\alpha}_{i_{qf}} \cdot a_{i_{qf}} \cdot \gamma_{jk} \geq P_{jk,q,U} - d_{jk,q} \cdot (1 - \beta), \text{ пътн./ден}$$

$$(4.18) 0 < \beta \leq 1$$

където: β е параметър.

Ограничителните условия (4.04), (4.05) и (4.06) остават непроменени.

IV.2.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРЕКИТЕ ЕКСПЛОАТАЦИОННИ РАЗХОДИ ЗА ВЛАК

Преките експлоатационни разходи за влак от назначение i се определят по следната формула:

$$(4.19) \quad r_{iqf} = r_{iqf}^m + r_{iqf}^l + r_{iqf}^w + r_{iqf}^c, \text{ лв./ден}$$

където: r_{iqf}^m са разходите за движение на влак от маршрут i , категория q и вариантна схема f , лв./ден; r_{iqf}^l са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за локомотивна бригада, лв./ден; r_{iqf}^w са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за превозна бригада, лв./ден; r_{iqf}^c са разходите за инфраструктурни такси, лв./ден

IV.2.3. ТЕОРЕТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МАКСИМАЛНАТА ПРОПУСКАТЕЛНА ВЪЗМОЖНОСТ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА ЛИНИЯ

Използваният метод е аналитично определяне на максимална пропускателна способност.

IV.3. МОДЕЛ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВРЪЗКИТЕ НА ВЛАКОВЕТЕ ВЪВ ВЪЗЕЛНИТЕ ГАРИ С ОТЧИТАНЕ НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТТА НА ПРОЦЕСИТЕ

IV.3.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

При определянето на продължителността на времето за прехвърляне е важно да се вземе предвид неопределеността на процесите, тъй като не може да се предвиди дали връзката ще бъде нарушена поради закъснение на влаковете влакове или по други причини.

IV.3.2. МАТЕМАТИЧЕСКА ФОРМУЛИРОВКА

В изследването оптимизацията на връзките между влаковете се основава на теорията на размитите множества, която се прилага към линеен оптимизационен модел. Разработеният оптимизационен модел усъвършенства моделът [74], като се отчита неопределеността на горната и долната граница на продължителността на връзката.

Железопътната мрежа може да се представи като свързана възлова структура. За всеки участък между два възела се задава влаково обслужване, за което трябва да се определи минутата на заминаване X_{ki} . Минутата на пристигане X_{kj} в следващия възел се определя в зависимост от минутата на тръгване от предходния и времепътуването между двата възела t_{ki} , т.е.

$$(4.36) \quad X_{kj} = X_{ki} + t_{ki}, \min$$

където: $k = 1, \dots, K$ е броят на възлите; $i = 1, \dots, n$ е броят на участъците между възлите.

При определяне на времепътуването се отчита само частта, надхвърляща цял час, например при времепътуване от 2 h 38 min се отчита само 38 min.

Основните неизвестни по модела са минутите на заминаване X_{ki} . Те могат да заемат стойности от 0 до 59 минути. За да се улесни изчислителния процес минутите се трансформират в часови стотни. За основните неизвестни трябва да е изпълнено следното условие:

$$(4.37) \quad 0 \leq X_{ki} < 1$$

Оптимизационната функция изразява минимизиране на времето за чакане на пътниците за смяна на влака във възелните гари.

$$(4.38) \quad W = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^m w_{kp} \rightarrow \min$$

където: w_{kp} е продължителността на времето за връзка, min; $p=1, \dots, m$ е поредният номер на връзката между направление i и направление j .

$$(4.39) \quad w_{kp} = X_{ki} - X_{kj} + X_{kv} \geq \tilde{t}_{\min, kp}$$

$$(4.40) \quad w_{kp} = X_{ki} - X_{jk} + X_{kv} \leq \tilde{t}_{\max, kp}$$

където: X_{kv} са допълнителни целочислени неизвестни, въведени поради ограничението на основните неизвестни да заемат стойности в интервала $[0,1]$, т.е. отрицателни стойности и стойности над 1; $v = 1, \dots, V$ е номерът на връзката в трансферната гара; $\tilde{t}_{min,kp}$, $\tilde{t}_{max,kp}$ са размитите стойности на минималната и максималната продължителност на връзката, които се задават с минимална и максимална допустима стойност, $\min$.

$$(4.41) \quad X_{kv,min} \leq X_{kv} \leq X_{kv,max}$$

$$(4.42) \quad X_{kv,min} = \tilde{t}_{min,kp} + t_{ki} + 1$$

$$(4.43) \quad X_{kv,max} = \tilde{t}_{max,kp} + t_{ki} - 1$$

$$(4.44) \quad \tilde{t}_{min,kp} \geq t_{p,ij,k} + t_b + t_d + t_e, \min$$

$$(4.46) \quad \tilde{t}_{max,kp} \leq \tilde{t}_{min,kp} + t_o, \min$$

където: $t_{p,ij,k}$ е продължителността на движението на пътниците от момента на слизване на перона от пристигащия влак i във възелната гара k до момента на преминаване на перона на заминаващия влак j , $\min$; t_b е продължителността за снабдяване с билет от касите на гарата, в случаите, когато пътникът не е снабден с билет за заминаващия влак, $\min$. $t_b = 0$, ако пътникът се е снабдил с билет до гарата на местоназначението от началната гара, $\min$; t_e е допълнителната продължителност на периода на връзка, която включва допълнителни неотчетени фактори, като напр. разликата в психофизичните качества на всеки пътник в придвижването му, в зависимост от възрастта му и др. t_d е продължителността на средното закъснение на бърз влак, което се определя чрез установяване на закона за разпределение на закъсненията на влаковете в трансферния възел, $\min$; t_o е допълнителната продължителност, която определя разликата между минималната и максималната продължителност на връзката, $\min$. Тя зависи от очакванията на пътниците за изчакване до влака за връзка, $\min$. В изследването е прието $t_o = 10 \min$.

Размиването на изследваните параметри се представя чрез функцията на принадлежност (на английски: membership function), μ_W .

$$(4.46) \quad \mu_W = \begin{cases} 1, if \ W \leq W_L \\ \frac{W_U - W}{W_U - W_L}, if \ W_L \leq W \leq W_U \\ 0, if \ W \geq W_U \end{cases}$$

където: W_U , W_L са най-високата и най-ниската стойност на оптимизационната функция, които могат да се получат чрез самостоятелни оптимизации с линейния оптимизационен модел..

За ограничителните условия от вида “ $\geq$ ” (4.54) функцията на принадлежност е:

$$(4.47) \quad \mu_{w_{kp1}} = \begin{cases} 1, if \ w_{kp} \geq tmin_{kp,U} \\ \frac{w_{kp} - tmin_{kp,L}}{tmin_{kp,U} - tmin_{kp,L}}, if \ tmin_{kp,L} \leq w_{kp} < tmin_{kp,U} \\ 0, if \ w_{kp} < tmin_{kp,L} \end{cases}$$

където: $tmin_{kp,L}$, $tmin_{kp,U}$ са най-високата и най-ниската допустима стойност размитите числа на минималната продължителност на времето за връзка, $\min$.

За ограничителните условия от вида “ $\leq$ ” (4.55) функцията на принадлежност е:

$$(4.48) \quad \mu_{w_{kp2}} = \begin{cases} 1, if \ w_{kp} \leq tmax_{kp,L} \\ \frac{tmax_{kp,U} - w_{kp}}{tmax_{kp,U} - tmax_{kp,L}}, if \ tmax_{kp,L} < w_{kp} \leq tmax_{kp,U} \\ 0, if \ w_{kp} > tmax_{kp,U} \end{cases}$$

където: $tmax_{kp,L}$, $tmax_{kp,U}$ са най-високата и най-ниската допустима стойност размитите числа на максималната продължителност на времето за връзка, $\min$.

Решаването на размития линеен оптимизационен модел се извършва чрез въвеждане на нова променлива λ .

Представения от (4.38) до (4.45) математически модел се преобразува в размит линеен оптимизационен модел в следния вид:

$$(4.49) \quad \max \lambda$$

$$(4.50) \quad \lambda \leq \mu_W, \text{ за оптимизационната функция}$$

$$(4.51) \quad \lambda \leq \mu_{w_{kp1}}, \text{ за всяко ограничително условие}$$

$$(4.52) \quad \lambda \leq \mu_{w_{kp2}}, \text{ за всяко ограничително условие}$$

$$(4.53) \quad 0 \leq \lambda \leq 1,$$

и ограничителни условия (4.36), (4.41).

IV.4. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА СХЕМА ЗА ПРЕВОЗ

IV.4.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Целта на изследването е да се разработи многокритериален модел за оптимизация на схемата за превоз, при който освен преките експлоатационни разходи от движението на влаковете се отчитат и оценките на вариантите схеми по предварително определени количествени и качествени показатели. При разработването на многокритериалният модел се прилага научният подход разработен в Глава II.

Многокритериалният модел включва следните стъпки:

- Дефиниране на критерии за оценка на вариантни схеми;
- Определяне на теглата на критериите и приоритизиране на показателите по метода ФАНР;
- Приоритизиране на вариантите схеми по метода PROMETHEE;
- Нормализиране на преките експлоатационни разходи, определени по размития линеен оптимизационен модел за всяка вариантна схема;
- Нормализиране на нетните аутранкиращи потоци получени от метода PROMETHEE за всяка вариантна схема;
- Избор на оптимална схема за превоз по критерий минимум на отношението на нормализираните разходи към нормализираните нетните аутранкиращи потоци.

IV.4.2. КРИТЕРИИ НА МНОГОКРИТЕРИАЛНИЯ МОДЕЛ

В дисертационният труд [45], чиито ръководител съм, както и в публикациите [П8,П9,П26,П27] са въведени следните допълнителни критерии за оценка на схемите за превоз:

- K1 – Транспортна задоволеност, брой влакове/ден.
- K2 – Среден брой спирания на влак.

Този фактор показва честотата на обслужване на населените места за вариантната схема.

- K3 – Средно влаково рамо, (Средно превозно разстояние), km.

Този фактор показва средната дължина на маршрутите за вариантната схема.

- K4 – Средна участъкова скорост, km/h.
- K5 – Надеждност.

В изследването надеждността се изразява чрез коефициент, отчитащ средното закъснение на влаковете.

$$(4.56) \quad K_5 = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

$$(4.57) \quad k_i = \frac{\frac{N_i^d}{\sum_{i=1}^n N_i}}{\frac{N_i^d}{\sum_{i=1}^n N_i}}$$

където: k_i е коефициентът, отчитащ закъсненията на влаковете от i ; N_i^d е броят на закъснените влакове от маршрут i , вл./ден.

- K6 – Наличие на обслужване с директен превоз.

Под директен превоз се разбира директно обслужване с влак (без междинни спирания на други гари) между големи градове (над 100 хил. души). Ако във вариантната схема се предлага такова обслужване $K_6 = 1$, в противен случай $K_6 = 0$.

- K_7 – Транспортен капацитет, бр. места.

Транспортният капацитет показва броя на предлаганите места за вариантната схема.

Тези критерии в изследването се определят поотделно за всяка вариантна схема след извършване на индивидуалните оптимизации по развития линеен модел.

IV.4.3. КРИТЕРИЙ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА ВАРИАНТНА СХЕМА

Изборът на оптимална вариантна схема се осъществява по разработената комплексна методология, основана на интегрирания научен подход, дефиниран в Глава II.

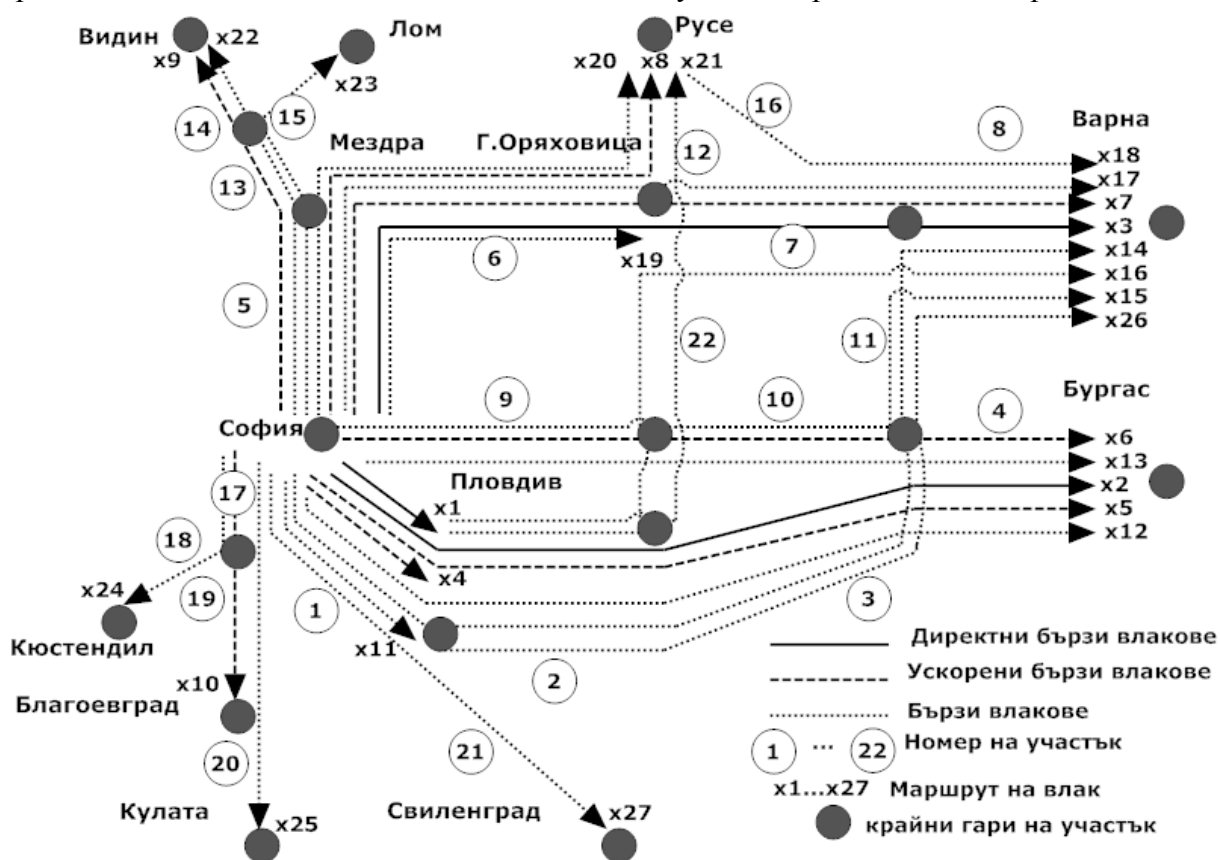
IV.5. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОКРИТЕРИАЛНИЯ МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА БЪРЗИТЕ ВЛАКОВЕ

IV.5.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВАРИАНТНИ СХЕМИ ЗА ПРЕВОЗ. ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА ВАРИАНТНА СХЕМА ПО КРИТЕРИЙ МИНИМУМ ПРЕКИ ЕКСПЛОАТАЦИОННИ РАЗХОДИ

IV.5.1.1. Вариантни схеми

Изследвани са 27 маршрута на междуградски влакове означени от x_1 до x_{27} . Допълнително към съществуващите категории междуградски влакове - бързи (ТС3) и ускорени бързи (ТС2) е изследвана допълнителна категория междуградски влакове, наречена директни (ТС1). Ускорените бързи влакове са със задължителна резервация на местата и обслужват големите гари между градовете. Директните влакове също са със задължителна резервация на местата и обслужват големите транспортни и административни центрове. Трите категории влакове отговарят на разработената в Глава III класификация.

На фиг.4.08 е показана схема на изследваните маршрути, началната и крайната гара на всеки маршрут, както и изследваните участъци. Броят на вагоните в състава на влаковете е съобразен с големината на пътничопотока и съществуващата организация на превозите.



Фиг.4.08. Схема на изследваните маршрути

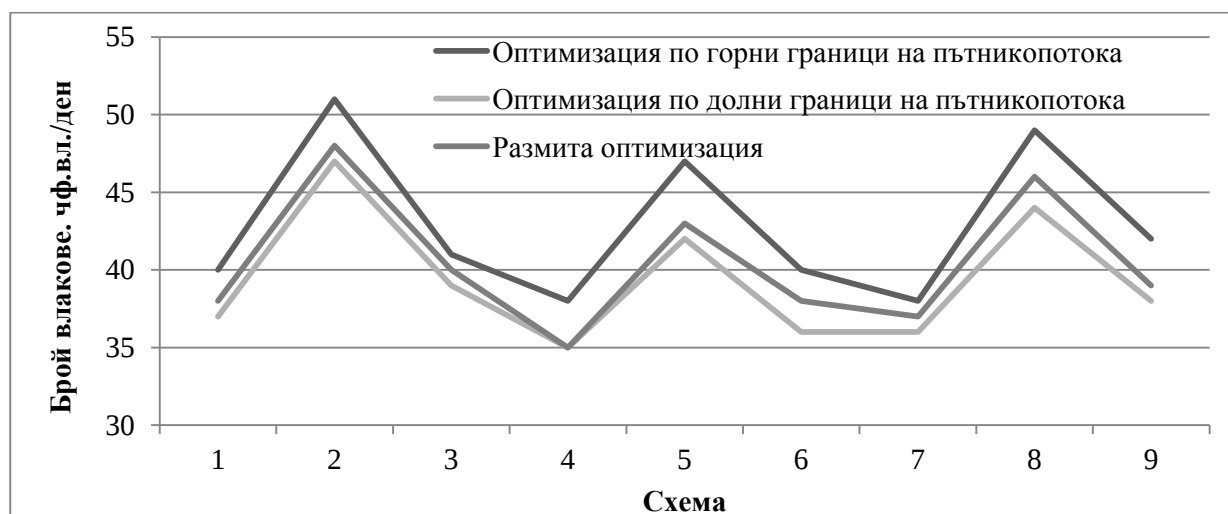
Схема 1, схема 2 и схема 3 са съставени от три категории влакове: директни (ТС1) – 3 маршрута, ускорени бързи влакове (ТС2) – 7 маршрута и бързи влакове (ТС3) – 17 маршрута. Общият брой на маршрутите е 27 (от х1 до х27). Схема 4, схема 5, схема 6 са съставени от две категории междуградски влакове: ТС1 – 3 маршрута, и ТС3 – 17 маршрута. Общият брой на маршрутите е 20 (от х1 до х3 за директните влакове и от х11 до х27 за бързите влакове). Схема 7, схема 8, схема 9 са съставени от две категории междуградски влакове: ТС2 – 7 маршрута и ТС3 – 17 маршрута. Общият брой на маршрутите е 24 (от х4 до х27 за ускорените бързи и бързи влакове). Броят на вагоните в състава на влака за схеми 1, 4 и 7 е 4 вагона; за схеми 2, 5 и 8 е 3 вагона. Броят на вагоните в състава на влака за схема 3 е 3 вагона за ТС1 и 4 вагона за ТС2 и ТС3; броят на вагоните в състава на влака за схема 6 е 3 вагона за ТС1 и 4 вагона за ТС3; броят на вагоните в състава на влака за схема 9 е 3 вагона за ТС2 и 4 вагона за ТС3.

IV.5.1.2. Размит оптимизационен модел за избор на оптимална вариантна схема по критерий минимум на преките експлоатационни разходи

IV.5.1.2.1. Размит оптимизационен модел чрез функцията на принадлежност

Съгласно изложената в т.IV.3.1.1 методика е съставен размит линеен оптимизационен модел. Моделът е решен поотделно за всяка вариантна схема.

На фиг.4.10 е направено сравнение на резултатите получени от индивидуалните оптимизации по линеен модел с горния и долен лимит на пътничкопотока по участъци и резултатите от размития линеен модел. Резултатите показват, че решението получено от размития линеен модел е между стойностите получени от индивидуалните оптимизации. Минимална по отношение на директните експлоатационни разходи е схема 4, при която обслужването е от две категории междуградски влакове: ТС1 (директни) – 3 маршрута, и ТС3 (бързи) – 17 маршрута.



Фиг.4.10. Сравнение на резултатите от индивидуалните оптимизации и размития линеен оптимизационен модел

IV.5.1.2. 2. Размит линеен модел чрез параметрично оптимизиране

Размитият линеен модел отчита размитите триъгълни числа за коефициента на използване на местата. Стойността на параметъра β в параметричното линейно оптимизиране се променя от 0.2 до 1 със стъпка 0.2. Резултатите показват следното:

- Броят на чифтовете влакове и експлоатационните разходи остават непроменени за стойности на параметъра β до 0.4.
- При стойности на параметъра β от 0.6 до 1 броят на чифтовете влакове и експлоатационните разходи се увеличава.
- Граничната стойност $\beta=1$ отговаря на ситуация при която не се отчита размитостта на модела.

- Представянето на размития оптимизационен модел чрез функцията на принадлежност позволява да се получи еднозначно решение.

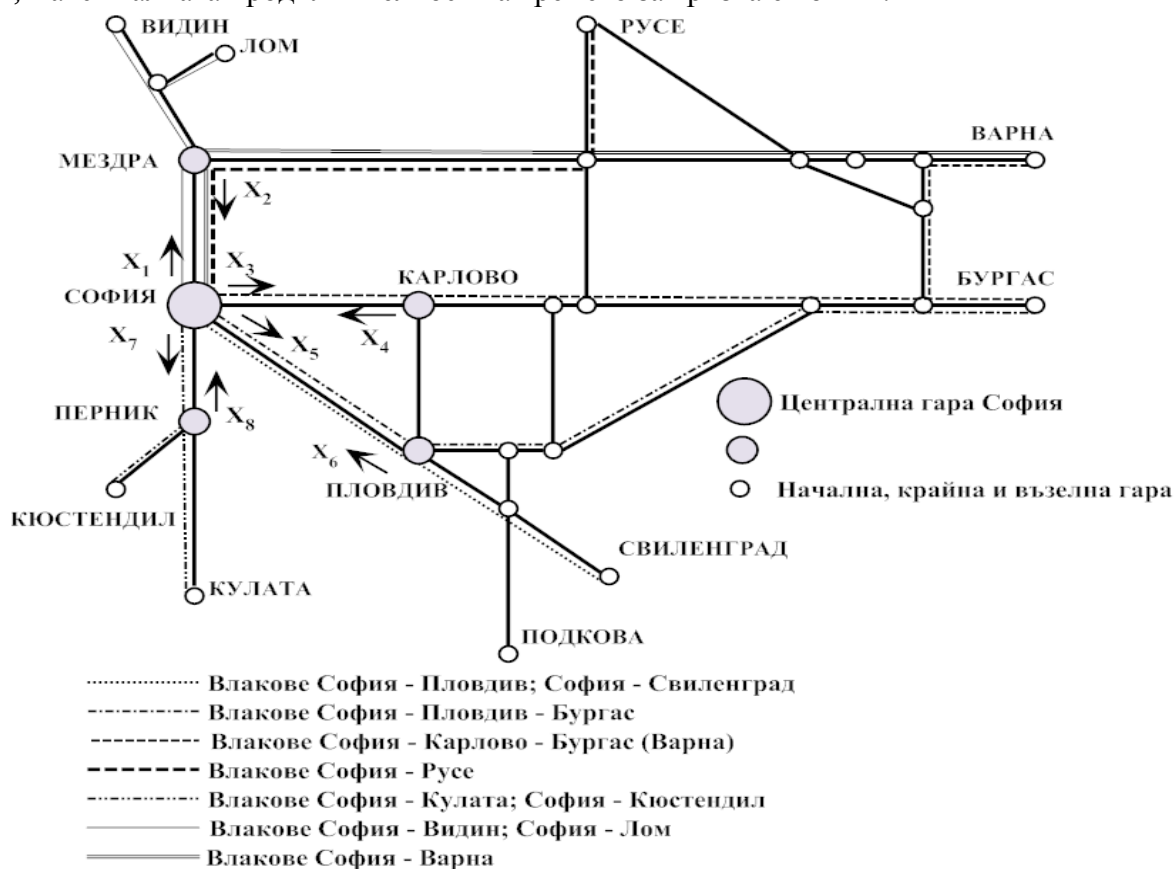
- Представянето на размития оптимизационен модел чрез параметрично линейно оптимизиране дава възможност да се изследват влиянието на флуктуациите на пътничопотока чрез параметъра β върху броя на влаковете. Методът може да се използва за оперативни решения в зависимост от промяната на пътничопотоците, свързана със сезонна, месечна, дневна неравномерност или други извънредни ситуации.

IV.5.2. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ВРЪЗКИТЕ НА ВЛАКОВЕТЕ ВЪВ ВЪЗЕЛНИТЕ ГАРИ

Изложената методика е експериментирана за оптимизиране на взаимодействието на бързите влакове в Централна гара София. С неизвестните X_1/X_2 са означени минутите на заминаване/пристигане на влаковете от направление Видин, Лом, Русе и Варна; с неизвестните X_3/X_4 са означени минутите на заминаване/пристигане на влаковете от направление Варна и Бургас; с неизвестните X_5/X_6 са означени минутите на заминаване/пристигане на влаковете от направление Пловдив-Бургас и Свиленград; с неизвестните X_7/X_8 са означени минутите на заминаване/пристигане на влаковете от направление Кюстендил и Кулата.

На фиг.4.12 е показана схема на основните неизвестни по модела.

В изследването е прието: продължителност на движението на пътниците от момента на слизване на перона от пристиганият влак до момента на преминаване на перона на заминаващия влак за Централна гара София $t_{p,ij,k} = 10 \text{ min}$; средна продължителност на закъснение на бърз влак $t_d = 20 \text{ min}$. Тази продължителност е установена в [45], където е определен логаритмично-нормален закон за продължителността на закъснението, по причина нарушаване на връзките със средна продължителност 15.4 min и стандартно отклонение 12.61 min. При това положение, минималната продължителност на времето за връзка е 30 min; максималната продължителност на времето за връзка е 40 min.



Фиг.4.12. Схема на маршрутите на бързите влакове от Централна гара София и на основните неизвестни по модела

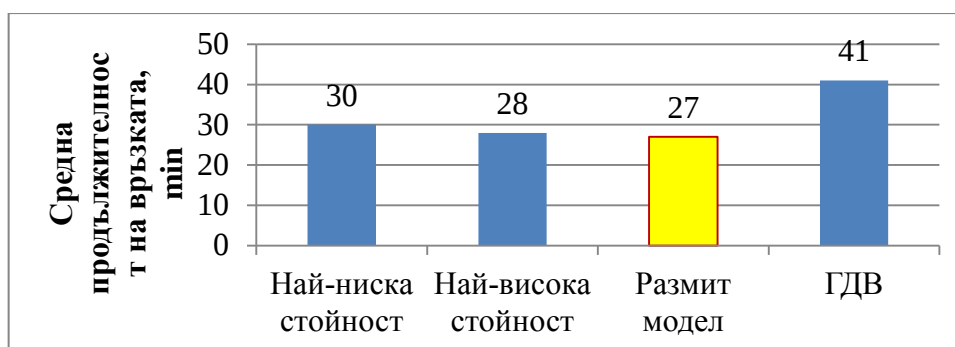
За да се отчете неопределеността на процесите, най-високата и най-ниската стойност на приетите граници на размитите стойности на минималната продължителност на времето за връзка са: $tmin_{kp,L} = 25 \text{ min}$, $tmin_{kp,U} = 30 \text{ min}$; най-високата и най-ниската стойност на приетите граници на размитите стойности на максималната продължителност на времето за връзка са: $tmax_{kp,L} = 40 \text{ min}$, $tmax_{kp,U} = 45 \text{ min}$.

Индивидуалните оптимизации са извършени с линеен оптимизационен модел с десни граници на ограничителните условия, съответно: $tmin_{kp} = 30 \text{ min}$ и $tmax_{kp} = 40 \text{ min}$ за определяне на най-ниските стойности на оптимизационната функция W_L ; $tmin_{kp} = 25 \text{ min}$ и $tmax_{kp} = 45 \text{ min}$ за определяне на най-високите стойности на оптимизационната функция W_U .

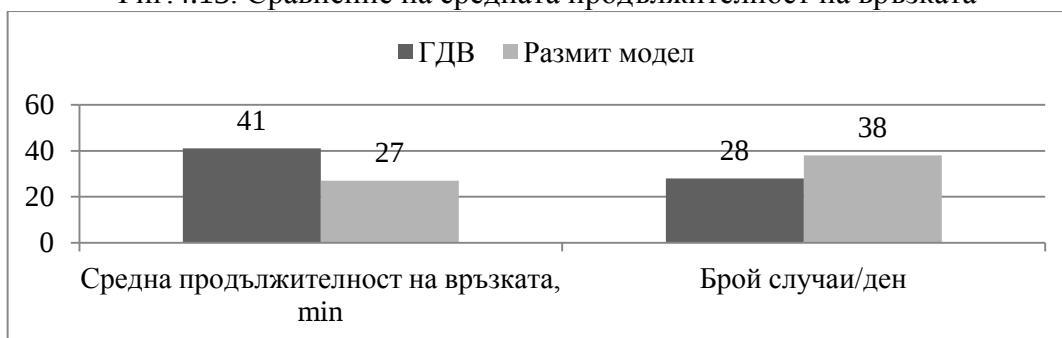
Изследването е проведено при задаване на стойност на едно от неизвестните – минутата на заминаване от Централна гара София в посока София – Пловдив ($X_5 = 0.25$; това е 15-та минута), което позволява по-удобно време за заминаване за пътниците от начална гара. Избраната стойност съвпада със съществуващата организация. Това направление е избрано за задаване на стойност на неизвестното, тъй-като има максимален пътникопоток в сравнение с останалите направления.

На фиг.4.13 са показани резултатите от изследването. Разработеният линеен оптимизационен модел с прилагане на теорията на размитите множества позволява да се намали средната продължителност на времето за връзка, в сравнение с индивидуалните оптимизации.

На фиг.4.14 е показано сравнение на резултатите за средната продължителност на времето за връзка и на броя на връзките по размития оптимизационен модел и по ГДВ 2015/2016.



Фиг.4.13. Сравнение на средната продължителност на връзката

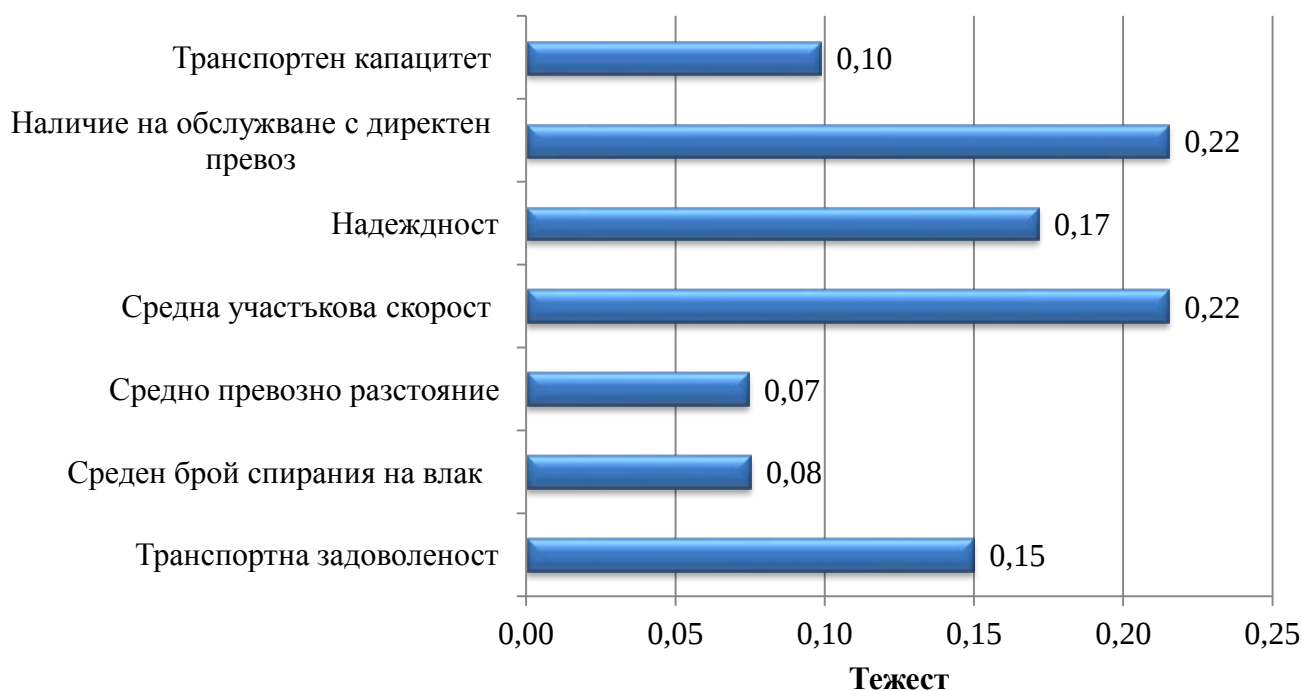


Фиг.4.14. Сравнение на резултатите по ГДВ 2015/2016 и по размития модел

IV.5.3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕГЛАТА НА КРИТЕРИИТЕ ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНИЯ МОДЕЛ

При провеждане на изследването за оценка на критериите и прилагане на ФАНР метода е използвана индивидуална оценка от 7 експерти.

На фиг.4.15 са показани теглата на критериите. Резултатите от изследването показват, че най-голяма тежест имат критериите средна участъкова скорост (0,22) и наличие на обслужване с директен превоз (0,22).



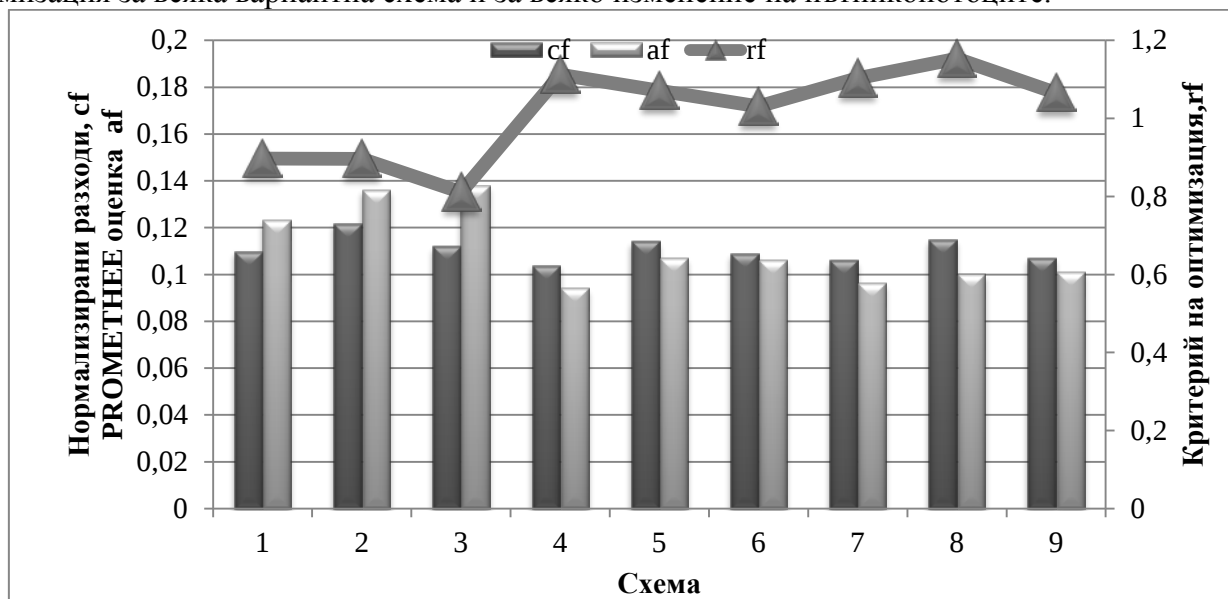
Фиг.4.15. Коефициенти на тежестите на критериите

IV.5.4. ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА ВАРИАНТНИТЕ СХЕМИ

Вариантните схеми са приоритизирани по метода PROMETHEE. Видът на оптимизацията е: за критериите K1 (транспортна задоволеност), K3 (средно превозно разстояние), K4 (средна участъкова скорост), K6 (наличие на директен превоз) и K7 (транспортен капацитет) - максимум, а за критериите K2 (среден брой спирания на влак) и K5 (коефициент на надеждност) – минимум. Ранкирането на схемите се извършва с отчитане на теглата на критериите, получени от метода FАНР. Резултатите показват, че оптимална по отношение на нетния аутранкиращ поток е схема 3, при която обслужването е с три категории влакове. За оптималната схема е проведен анализ на чувствителността на решението.

IV.5.5. КРИТЕРИЙ ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА СХЕМА ЗА ПРЕВОЗ

На фиг.4.20 са показани нормализираните разходи, нетните аутранкиращи потоци по метода PROMETHEE, нормализираните нетни аутранкиращи потоци и критерия на оптимизация за всяка вариантна схема и за всяко изменение на пътничопотоците.



Фиг.4.20. Сравнение на резултатите от оценките

Резултатите показват, че оптимална по критерий минимум на преките експлоатационни разходи е схема 4 (ТС1 и ТС3 с 4 вагона); по критерий максимум на нетния аутранкиращ поток на PROMETHEE оценките, оптимална е схема 3 (ТС1 – 3 вагона; ТС2 – 4 вагона; ТС3 – 4 вагона). Оптимална схема по комбинирания критерий минимум на отношението на нормализираните преки експлоатационни разходи и нормализираните нетни аутранкиращи потоци на PROMETHEE оценките е също схема 3.

Оптималната вариантна схема позволява увеличаване на влаковото обслужване и намаляване на преките експлоатационни разходи с 10171лв./ден в сравнение със съществуващото положение. Предлаганият брой на влаковете е 80 вл./ден, докато при организацията по действащия ГДВ е 73 вл./ден, фиг.4.21. Предлаганият брой влакове съответства на наличния подвижен състав. Оптималната схема се различава по категории, състав на влаковете и маршрути от съществуващата схема.

IV.6. МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА ПЪТНИКОПОТОЦИТЕ ВЪРХУ МАРШРУТИЗАЦИЯТА НА ПРЕВОЗИТЕ

Целта на изследването е да се разработи методика за оптимален многокритериален избор на схема на обслужване с пътнически жп транспорт, която да отчита и процентното изменение на пътничкопотока в резултат на промени в организацията на превозите. В изследването се прилага комплексната методология, основана на интегриран научен подход за многокритериален избор на технология за превоз в транспортна мрежа при състояние на неопределеност, разработен в Глава II. Основните стъпки на методиката са: Определяне на теглата на процентното изменение на пътничкопотока по метода АНР; Определяне на теглата на критериите по метода FАНР; Прилагане на размития линеен оптимизационен модел, разработен в т.IV.2.1.1 за всяка вариантна схема при всяко изследвано изменение на пътничкопотока и изследвани стратегии – образуване на матрица на разходите; Прилагане на метода на Дървото на решенията за определяне на оптималната схема по критерий минимум на очакваната средна стойност на разходите; Определяне на аутранкиращите потоци за всяка вариантна схема по метода PROMETHEE поотделно, и за всяко вероятно изменение на пътничкопотока – образуване на матрица на аутранкиращите потоци; Прилагане на метода на Дървото на решенията за определяне на оптималната схема по критерий максимум на очакваната средна стойност на аутранкиращите потоци; Избор на оптимална схема по критерий минимум на отношението на нормализираните критерии на очакваната средна стойност на преките експлоатационни разходи и нормализираните критерии на очакваната средна стойност на многокритериалния модел.

В изследването са дефинирани следните стратегии за изменение на пътничкопотока:

- Стратегия 1(Реалистична). При тази стратегия пътничкопотокът се променя от -15% до 15% със стъпка на изменение от 5%.

- Стратегия 2 (Оптимистична). При тази стратегия пътничкопотокът се променя от 0% до 30% със стъпка на изменение от 5%.

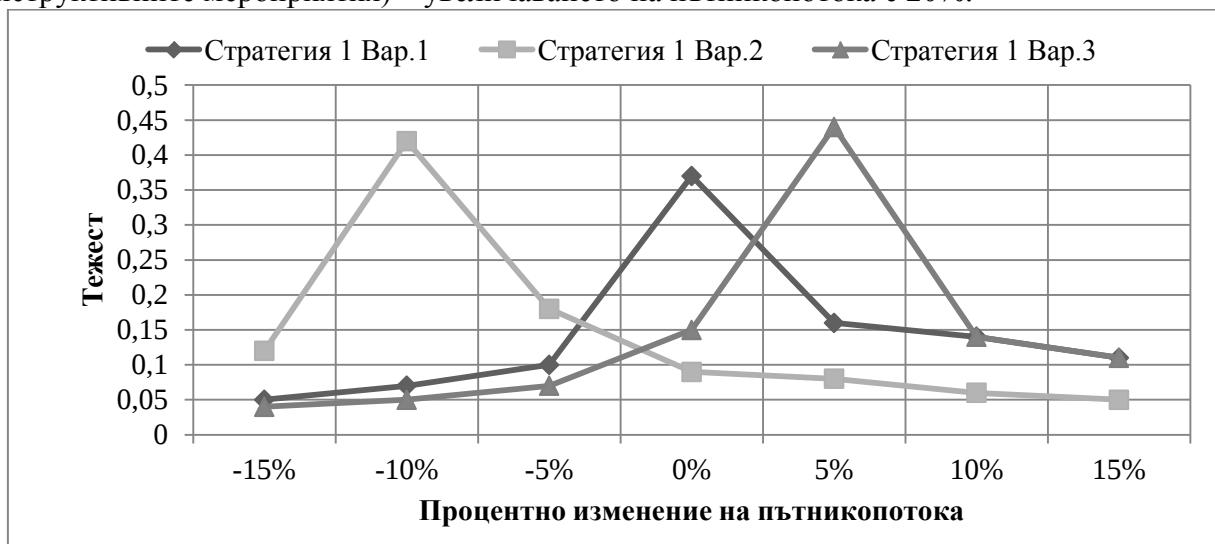
За всяка от стратегиите се изследват варианти на изменение на пътничкопотока, според следните видове изменения в железопътната инфраструктура: Вариант-1: не се извършват реконструктивни мероприятия по железопътната инфраструктура; Вариант-2:извършват се реконструктивни мероприятия по железопътната инфраструктура; Вариант-3: реконструктивните мероприятия са приключили.

IV.7. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА ПЪТНИКОПОТОЦИТЕ ВЪРХУ МАРШРУТИЗАЦИЯТА НА ПРЕВОЗИТЕ

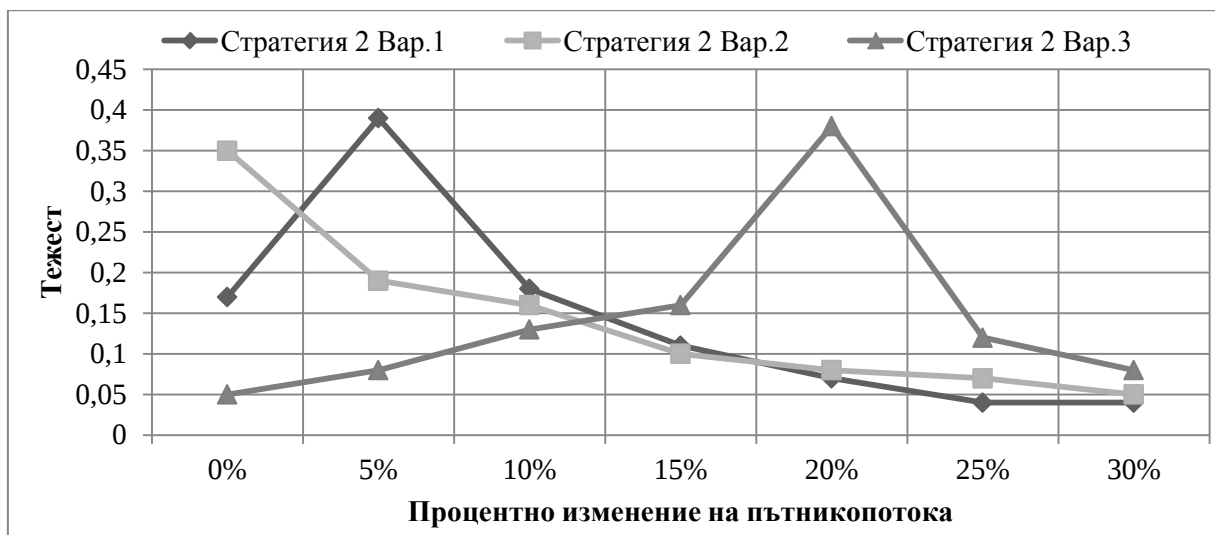
IV.7.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕГЛАТА НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА ПЪТНИКОПОТОКА ПО МЕТОДА АНР

Тежестите на вероятностното изменение на пътничкопотока за всеки от вариантите при двете стратегии са определени с използването на метода на аналитичната йерархия АНР. Оценките са дадени от група от 7 експерти, които са направили и оценки на критериите в многокритериалния модел. На фиг.4.25 и фиг.4.26 е показано сравнение на тежестите на

процентното изменение на пътничкопотока за Стратегия 1 и Стратегия 2. За Стратегия 1 най-голяма тежест при вариант 1 (без реконструктивни мероприятия) има запазването на пътничкопотока без изменение; при вариант 2 (извършване на реконструктивни мероприятия) – намаляването на пътничкопотока с 10%; при вариант 3 (след завършване на реконструктивните мероприятия) – увеличаването на пътничкопотока с 5%. За Стратегия 2 най-голяма тежест при вариант 1 (без реконструктивни мероприятия) има увеличаването на пътничкопотока с 5%; при вариант 2 (извършване на реконструктивни мероприятия) – запазването на пътничкопотока без изменение; при вариант 3 (след завършване на реконструктивните мероприятия) – увеличаването на пътничкопотока с 20%.



Фиг.4.25. Сравнение на тежестите при процентно изменение на пътничкопотока (-15% до 15%)



Фиг.4.26. Сравнение на тежестите при процентно изменение на пътничкопотока (0% до 30%)

IV.7.2. ПРИЛАГАНЕ НА РАЗМИТИЯ ЛИНЕНЕЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА ВСЯКА ВАРИАНТНА СХЕМА ПРИ ВСЯКО ИЗСЛЕДВАНО ПРОЦЕНТНО ИЗМЕНЕНИЕ НА ПЪТНИКОПОТОКА

Размитият линеен оптимизационен модел се прилага поотделно за всеки вариант на изменение на пътничкопотока и за всяка изследвана вариантна схема.

IV.7.3. ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА НА ДЪРВОТО НА РЕШЕНИЯТА

За всяка стратегия и вариант на изменение на пътничопотока се съставя модел по метода на Дървото на решенията. За провеждане на изследването по метода на Дървото на решенията е използван софтуерът Decision Tools Suite software - Precision Tree на Palisade Corporation.

За прилагане на метода на Дървото на решенията се съставят модели за всяка от изследваните стратегии и за всяко изменение на пътничопотока, поотделно за разходите и за нетните аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE.

За да се съставят моделите се извършват последователно следните оптимизационни процедури:

- Оптимизация по размития линеен оптимизационен модел за всяка вариантна схема и за всяко изменение на пътничопотока. Резултатът е разходи, брой влакове за всеки маршрут за дневен период от време.

- Оптимизация по многокритериалния модел по метода PROMETHEE. Резултатът е нетни аутранкиращи потоци за всяка вариантна схема при съответно процентно изменение на пътничопотока.

IV.7.4. ИЗБОР НА ОПТИМАЛНА ВАРИАНТНА СХЕМА ПО КОМПЛЕКСЕН КРИТЕРИЙ

За всяка вариантна схема при съответното изменение на пътничопотока се определят нормализираните разходи. За всяко изменение на пътничопотока (от -15% до 30%) се съставя многокритериалния модел в среда Visual PROMETHEE. Резултатът от оптимизацията са нетните аутранкиращи потоци.

Резултатите показват следното:

- При Стратегия 1, оптимална по критерий минимум нормализирани преки експлоатационни разходи е схема 4.

- При Стратегия 2, оптимална критерий минимум нормализирани преки експлоатационни разходи е схема 7.

- При двете стратегии, оптимална по критерий максимум на нетния аутранкиращ поток е схема 2.

- Оптималната вариантна схема по комплексния критерий и за двете стратегии и варианти на изменение на пътничопотока е Схема 3 – обслужване с три категории бързи влакове.

За оптималната схема 3 е направено сравнение на преките експлоатационни разходи; приходите и експлоатационните разходи, при които се отчитат разходите за поддържане и ремонт на подвижния състав, и разходите за амортизации. Към преките експлоатационни разходи допълнително за нощните влакове (София – Бургас и София - Варна) са отчетени към състава на влака по 3 спални вагона, чиито брой е приет в съответствие с действащия ГДВ. Изследването показва, че приходите, надвишават преките експлоатационни разходи, отчетени по методиката, свързани с движението на влаковете.

Изследвано е запълването на влака, чрез коефициента на използване на местата, определен посредством дефъзификация на триъгълните размити числа и населеност от 80%. При населеност на влаковете от 80% има резерв от поемане на увеличен пътничопоток до около 15%. При увеличение на пътничопотока над 15%, определянето на техния брой с увеличена населеност от 90% , позволява да се посочи до какъв брой може да се намали броят на чифтовете влакове. Това се налага поради недостатъчния подвижен и тягов състав за осигуряване на движението на влаковете към настоящия момент. С ГДВ 2016/2017 г броят на ускорените бързи и бързи влакове за ежедневно и допълнително движение (календарни, извънредни и др.), за които в осигурен подвижен и тягов състав е 82 влака.

IV.8. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

IV.8.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. Разработен е размит линеен оптимизационен модел по критерий минимум на преките експлоатационни разходи, с отчитане на неопределеността на процесите и прилагане на теорията на размитите множества, т.IV.2.1.1. Пътникопотокът и коефициентът на използване на местата във влака са представени чрез размити числа. За решаване на размитият линеен модел е приложена функцията на принадлежност и параметрично оптимизиране, т.IV.2.1.1; т.IV.2.1.2.
2. Подходът на прилагане на теорията на размитите множества при извършване на оптимизацията чрез функцията на принадлежност позволява да се отчете неопределеността на процесите в колебанията при изменение на пътникопотока. Методът може да се използва за оперативни решения в зависимост от промяната на пътникопотоците, свързана със сезонна, месечна, дневна неравномерност или други извънредни ситуации.
3. Усъвършенстван е моделът за оптимизация на връзките на влаковете във възелните гари [74], чрез отчитане на неопределеността на процесите и прилагане на теорията на размитите множества, т.IV.3.2. За решаване на размития линеен модел е приложена функцията на принадлежност. Размитият линеен оптимизационен модел е представен чрез размити числа за границите на времето за връзка.
4. Методиката за оптимизация на връзките на влаковете във възелните гари с отчитане на неопределеността на процесите може да се използва за оптимизиране на връзките между влаковете един или повече пъти в денонощието, или да се разработи тактов график за движение на влаковете. Методиката може да се приложи и за оптимизиране на връзките и за други категории влакове, като например крайградски или международни пътнически влакове.
5. Разработена е комплексна методика за оптимизация на маршрутизацията на пътническите жп превози, основана на въведената комплексна методология в Глава II, основана на интегриран научен подход, свързан с многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, т. IV.4.
6. Въведени са критерий за оценка на вариантни схеми за превоз, IV.4.2. Тежестите на критериите са определени по размития метод на Аналитичната йерархия, основан на теорията на размитите множества.
7. За оценка на вариантите схеми по допълнителни критерии е приложен комбиниран подход между размития метод на Аналитична йерархия FAHP и метода PROMETHEE. Приложен е въведеният в гл.II критерий максимум на нормализирани нетни аутранкиращи потоци за многокритериална оптимизация за избор и оценка на вариантите схеми по допълнителните критерии, формула (2.30).
8. За първи път е въведен подход на многокритериална оптимизация и комплексен критерий на оптимизация при избор на схема за превоз, т.IV.4.3.
9. Разработена е комплексна методика за оптимизиране на схемата на движение на пътническите влакове с отчитане на изменение на пътникопотока в условията на неопределеност, базирана на разработения в Глава II интегриран научен подход, свързан с многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, т. IV.6.
10. Изследването по комплексната методика при основен пътникопоток в състояние на определеност (без процентно изменение) позволява да се определи броят и назначенията на влаковете за ежедневно влаково обслужване. Проведеното изследване за изменение на пътникопотока може да се използва при определяне на извънредни, сезонни или календарни допълнителни влакове.
11. Комплексната методика за избор на оптимална организация на междуградски железопътен превоз на пътници може да се прилага, както за отделен железопътен полигон, така и комплексно за цялата жп мрежа. Методиката може да се приложи и за

определяне на организацията и на други категории пътнически влакове, като например крайградски влакове или международни пътнически влакове.

IV.8.1. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Комплексната методика за оптимизация на маршрутизацията на пътническите жп превози, основана на въведената в Глава II комплексна методология, е приложена за изследване на вариантите схеми за превоз на бързи влакове в националната жп мрежа. Изследвано е влиянието на изменението на пътничкопотока върху избора на оптимална схема за превоз, което показва запазване на оптималното решение при основен пътничкопоток.
2. Резултатите от проведеното изследване доказват ефективността на организация на директни влакове на дълги разстояния с намален брой спирания за направленията София-Пловдив-Бургас и София-Горна Оряховица-Варна.
3. Оптималната схема за превоз се обслужва от 3 категории влакове - Директен влак, Ускорен бърз влак и Бърз влак. Директните влакове са със състав от 3 вагона, а другите категории бързи влакове (УБВ и БВ) с 4 вагона. Изследвано е влиянието на изменението на пътничкопотока върху избора на оптимална схема за превоз. Резултатите показват запазване на оптималната схема и в условията на неопределеност на процесите при вероятностно изменение на пътничкопотоците.
4. Установено е, че най-голяма тежест от допълнителните критерии имат средната участъкова скорост (0,22) и наличието на обслужване с директен превоз (0,22).
5. Дефинирани са две стратегии за изменение на пътничкопотока (реалистична и оптимистична), според изменения в железопътната инфраструктура. Установени са вероятностите за изменението на пътничкопотока за всяка стратегия.
6. За всяка стратегия са определени тежестите на процентното изменение на пътничкопотока по метода на Аналитичната йерархия АНР.
7. Проведен е анализ на чувствителността и са определени границите на изменение на показателите за оценка на вариантите схеми, при които оптималното решение се запазва.
8. Оптималната вариантна схема по методиката предлага увеличаване на транспортното обслужване с влакове при намаляване на преките експлоатационни разходи спрямо съществуващото положение по ГДВ. Предлаганият брой на влаковете е 80 вл./ден, докато при организацията по действащия ГДВ е 73 вл./ден. Предлаганият брой влакове съответства на наличния подвижен състав. Оптималната схема се различава по категории, състав на влаковете и маршрути от съществуващата схема.
9. При увеличаване на пътничкопотока от 20% до 30%, според параметрите на методиката, подвижният състав е недостатъчен и трябва да се закупи допълнителен; увеличеният пътничкопоток от 20% до 30% може да бъде превозен и със съществуващия подвижен състав, но с намалена честота на превозите.
10. Методиката за оптимизация на връзките на влаковете във възелните гари с отчитане на неопределеността на процесите е експериментирана за оптимизиране на връзките на бързите влакове в Централна гара София. В резултат на оптимизацията броят на връзките между бързите влакове в Централна гара София се увеличава с 34% ,а средната продължителност на връзката се намалява с 26% в сравнение със съществуващата организация.

ГЛАВА V. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ТРАНСПОРТНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ НА ЛИЧНИ АВТОМОБИЛИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ЗАМЪРСЯВАНЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА

V.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Целта на изследването е да се разработи комплексен подход за избор на технология за превоз на лични автомобили при туристически и бизнес пътувания, когато пътниците желаят

да ползват автомобилa си в крайният пункт на пътуването, като се отчетат екологичните, икономическите, технологичните и социалните критерии, свързани с транспорта.

Предложената комплексна методика за оценка на транспортни технологии за превоз на лични автомобили за намаляване замърсяването на околната среда включва три стъпки. Първата стъпка определя стратегиите и критериите за избор на начин на транспорт. Във втората стъпка методът на аналитичната йерархия АНР се използва за определяне на теглата на критериите. Третата стъпка включва приоритизиране на изследваните алтернативи за превоз на лични автомобили, чрез прилагане на метода PROMETHEE, използвайки теглата на критериите, получени по метода АНР във втората стъпка.

V.2. МАТЕМАТИЧЕСКА ФОРМУЛИРОВКА НА МНОГОКРИТЕРИАЛНИЯ МОДЕЛ

V.2.1. Варианти на изследване

В изследването се разглеждат следните варианти (алтернативи) на ползване на автомобил при извършване на пътуването:

- Превоз на личния автомобил на пътника в специализиран вагон в състава на влака, при което пътниците пътуват със същия влак (motorail trains) – MR. Този вид превоз реализира възможността пътника да пътува по схемата „врата до врата“, ползвайки собствения си автомобил;

- Пътуване с личен автомобил с дизелов двигател – CD;
- Пътуване с личен автомобил с бензинов двигател – CP;
- Пътуването се извършва с автобус, като в крайния пункт се ползва услугата „rent a car“ – ARC;
- Пътуването се извършва с влак, като в крайната гара се ползва услугата „rent a car“ – TRC.

V.2.1. Дефиниране на критерий за оценка на ефективността на превозите

Изследвани са следните основни критерии, разделени в четири групи: Екологични (C1), Икономически (C2), Технологични (C3), Социални (C4).

За всяка от изследваните групи основни критерии са дефинирани под-критерии.

Първата група основни критерии (C1) включва следните под-критерии: C11 – въглероден диоксид (CO₂); C12 – замърсяващи емисии. Замърсяващите емисии включват четири под-критерия: C121 – въглероден оксид (CO); C122 – азотни оксиди (NO_x); C123 – неметанови въглеводороди (NC); C124 – прахови частици (PM).

Втората група критерии (C2) включва следните под-критерии: C21 – транспортни разходи за гориво (ел. енергия), лв./пътн.; C22 – цена на билета, лв./пътн.; C23 – инфраструктурни такси, лв./пътн.; C24 – допълнителни такси за натоварване и разтоварване на колите в специализирания вагон.

Третата група критерии (C3) включва следните под-критерии: C31 – време пътуване в часове; C32 – възможност за транспорт „врата до врата“; C33 – продължителност на товарно-разтоварни операции в минути.

Четвъртата група (C4) включва следните под-критерии: C41 – комфорт; C42 – сигурност; C43 – надеждност. Комфортът при пътуването (C41) се определя от следните под-критерии: C411 – възможност пътника да ползва свободното си време при реализиране на превоза за други занимания; C412 – наличие на тоалетна; C413 – умора при пътуването; C414 – наличие на ресторант; C415 – възможност пътникът да се движи по време на пътуването.

Стойностите на критериите се определят поотделно за всеки от изследваните варианти (алтернатива) на пътуване.

Определянето на параметрите на емисиите за екологичните критерии зависи от: работния режим на двигателя – празен, студен и горещ; пътните условия – в населени места, извън селищата, по магистрали; технически средства – вид на автомобилa, двигател и др.; експлоатационни показатели – брутна маса, скорост, наклон и т.н. За определяне на параметрите на емисиите е използван моделът на Европейската агенция за опазване на

околната среда за оценка на емисиите от даден автомобил, който се основава на общия разход на гориво или мощността на двигателя. При превоз по железопътен транспорт са отчетени емисиите за въглероден диоксид (CO₂) за под-критерия C11 при производство на електроенергия. По данни от НСИ и фиг.1.04 от гл.I, емисиите от CO₂ са 0,460 t/MWhe.

Разходите за гориво или електроенергия, необходими за превоза (C21) за различните видове алтернативи на транспорт се определят поотделно.

А) За влаковете, превозващи автомобили:

Разходът на електроенергия за движение на влака се определя поотделно за вагоните, превозващи автомобили и за вагоните, превозващи пътници. Разходът на електроенергия за движение на влак, превозващ автомобили на пътниците, отнесен на един пътник е:

$$(5.02) \quad R_{RT}^P = \frac{r_{i_{qf}}^{m,E}}{m_p \cdot a \cdot \alpha}, \text{ лв./пътн.}$$

където: $r_i^{m,E}$ е разходът за електроенергия за реализиране на движението на влака, лв./ден; m_p е броят на пътническите вагони в състава на влака; a е броят на местата в пътнически вагон; α е коефициентът на използване на местата. В изследването е прието $\alpha=0.75$. В изследването е приет следния състав на влака: $m_D=1$; $m_P=3$, където m_D е броят на специализираните вагони за превоз на автомобили (ДДМ).

Б) За влак:

В този случай в състава на влака няма вагон за превоз на автомобили. Ползването на автомобил в крайната гара на пътуването е с услугата „rent a car“.

Прието е, че броят на вагоните в състава на влака е $m_P=4$. В този случай разходът на електроенергия за движение на влак, превозващ автомобили на пътниците, отнесен на един пътник се определя по формула (5.02), като се отчита, че броят на пътническите вагони е $m_P=4$.

В) За автомобил или автобус:

Разходът на гориво се определя по следната формула:

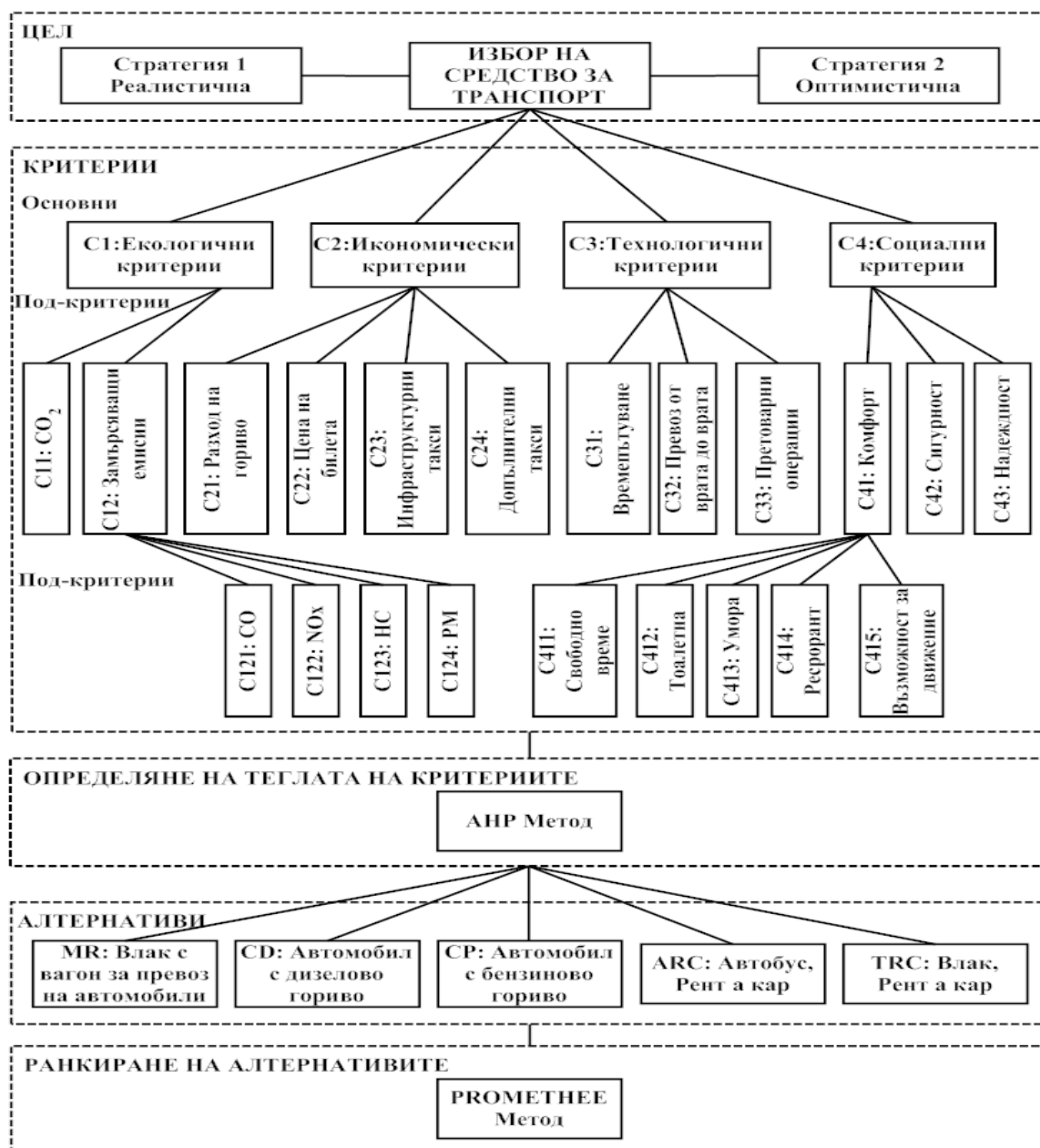
$$(5.03) \quad R_C = \frac{L_C \cdot r_C \cdot p_C / 100}{m_C}, \text{ лв./пътн.}$$

където: L_C е дължината на маршрута с автомобил (автобус), km; r_C е разходът на гориво (дизелово гориво или бензин) за 100 km; p_C е цената на горивото, лв./l; m_C е броят на местата в автомобила (автобуса). В изследването е прието за автомобил – $m_C=4$ места; за автобус - $m_C=50$ места.

Стойностите на критерия инфраструктурни такси (C23) за железопътния и за автомобилния транспорт се отчитат за превоза на пътник. С „да“ и „не“ се задават стойностите на критериите: (C24) –допълнителни такси за натоварване и разтоварване на автомобилите; възможност за транспорт „врата до врата“ (C32), както и всички критерии от четвърта основна група (C4). При определянето на цената на билета (C22) за влак със специализирани вагони за превоз на автомобили се отчита цената на билета за превоза на пътника и таксата за превоз на автомобила. В изследването е прието таксата за превоз на автомобил 40 лв. При превоз с автомобил цената на билета се приема равна на експлоатационните разходи за транспорт, отнесена към броя на пътуващите (от 1 до 5) в един автомобил. За вариантите на превоз с влак и ползване в крайната гара на „rent a car“ (TRC) и превоз с автобус и ползване в крайната автогара на „rent a car“ (BRC) се отчита таксата за ползване на „rent a car“. Таксата зависи от вида на наемания автомобил и продължителността на наемането. В изследването е прието такса за ползване на услугата „rent a car“ за един ден 50 лв., а за ползване от два до шест дни 45лв.

V.2.2. Определяне на теглата на критериите

За определяне на теглата на критериите е приложен методът АНР. На фиг.5.01 е показана схема на методиката, включваща и йерархичната структура на изследваните критерии.



Фиг.5.01. Схема на методиката

V.2.3. Приоритизиране на алтернативите за транспорт

В изследването са предложени две стратегии за оценка на критериите. Първата стратегия, наречена "Реална", съответства на текущото състояние на транспорта. Втората стратегия, наречена "Оптимистична", се фокусира върху опазването на околната среда.

След определянето на теглата на критериите в третата стъпка се прилага методът PROMETHEE за приоритизиране на изследваните алтернативи за транспорт. За всеки от изследваните критерии се задава търсене на максимум или на минимум. Максимум се задава за следните критерии: С32, С412, С414, С415, С42, И С43. За всички останали критерии се търси минимум.

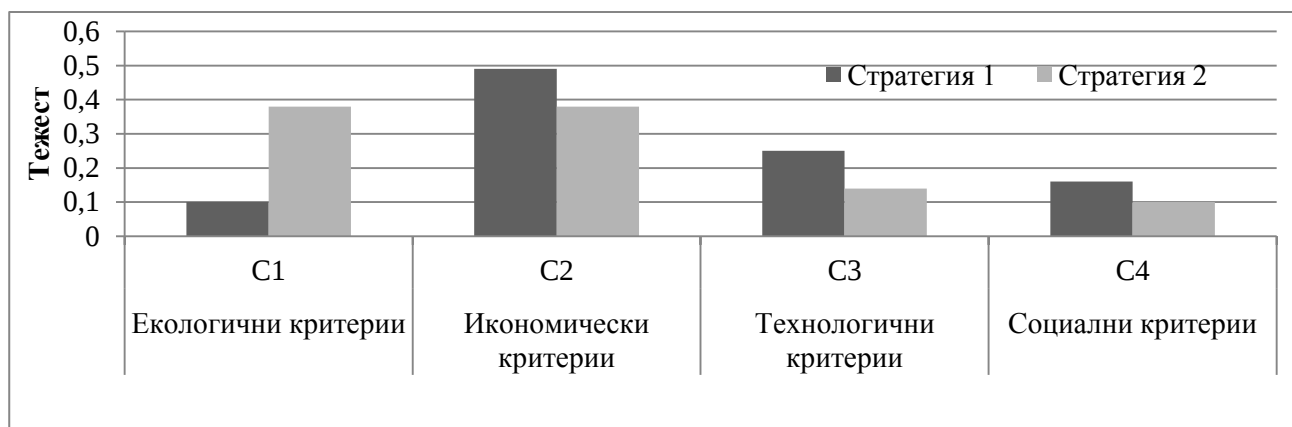
V.3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОЦЕНКА НА ТРАНСПОРТНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ НА ЛИЧНИ АВТОМОБИЛИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ЗАМЪРСЯВАНЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА

Разработената методика е експериментирана за транспортиране по маршрута София – Пловдив – Бургас. Тази дестинация се характеризира с голям брой туристически и бизнес пътувания. Превозите се извършват с влакове, автобуси и автомобили. Дължината на маршрута с влак е 446 km, с автомобил или автобус 390 km. В изследването е прието, че има

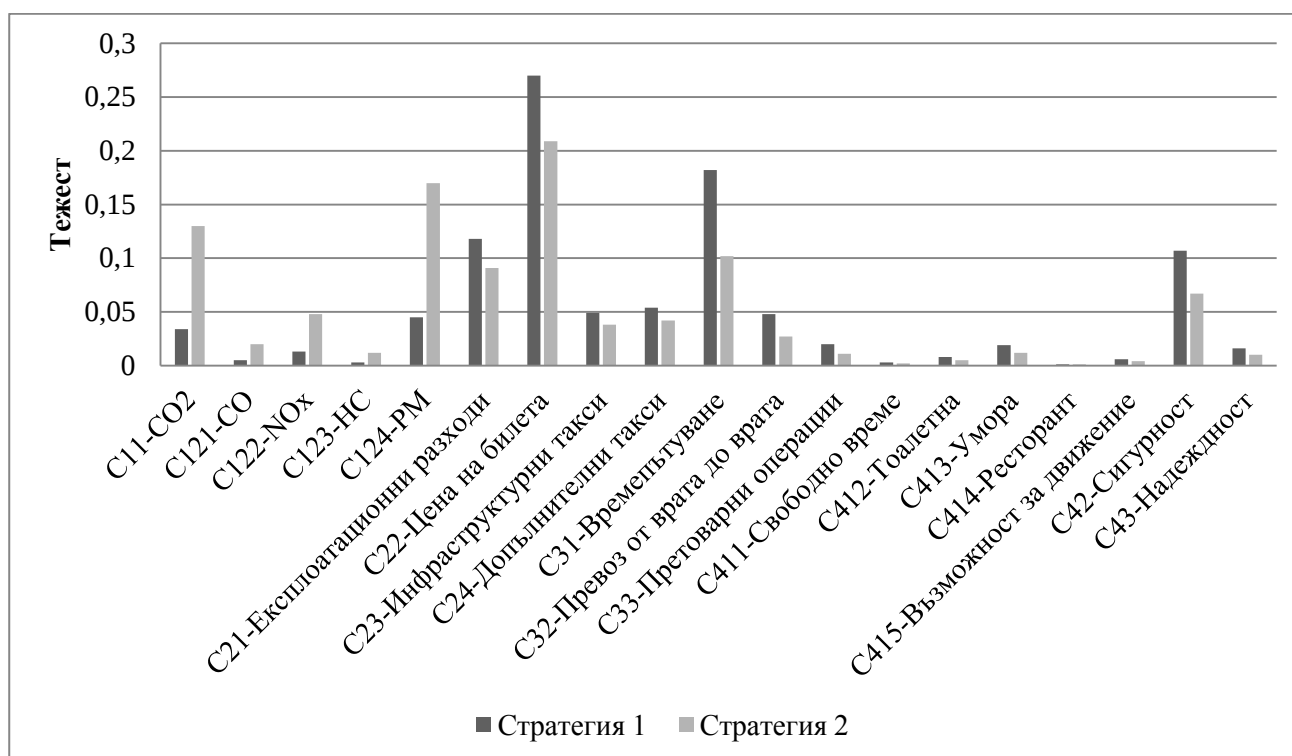
превози с влакове, превозващи автомобили. Оценките за критериите са направени от група от 5 експерти, които дават обща оценка на критериите по двете изследвани стратегии.

За Стратегия 1 най-голяма тежест имат икономическите критерии, а за Стратегия 2 екологичните и икономическите критерии имат равни тегла. За Стратегия 1 най-голяма тежест имат под-критериите експлоатационни разходи (0,118), цена на билета (0,27), времепътуване (0,102) и сигурност (0,107). За Стратегия 2, при която се дава приоритет на опазването на околната среда, под-критериите с най-голяма важност са емисиите от въглероден диоксид (0,13), прахови частици (0,17), експлоатационни разходи (0,091), цена на билета (0,209), времепътуване (0,102) и сигурност (0,06).

На фиг.5.04 и фиг.5.05 са показани графики на тежестите на основните критерии и на под-критериите.



Фиг.5.04.Тежести на основните критерии



Фиг.5.05.Тежести на под-критериите

За двете стратегии са изследвани следните варианти според броя на пътниците, пътуващи в един автомобил и според броя на дните на престой в крайния пункт на транспорт: Според броя на пътниците, пътуващи в един автомобил: един, два, три или четири пътника; Според броя на дните на престой в крайния пункт на транспорт: един, два,

три или четири дни. Изследваният брой на пътници в един автомобил е съобразен с комфортно пътуване. Броят на дните престой в крайния пункт има влияние върху заплащане на таксите за ползване на автомобил при вариантите с услугата „rent a car“.

При превоз на повече пътници в автомобил и при престой в крайния пункт повече от един ден за Стратегия 1 оптималната алтернатива е превоз с автомобил, а за Стратегия 2 е превоз със специализирани влакове.

В табл.5.13 са показани рангът на алтернативите, получен от прилагането на софтуера Visual PROMETHEE, в зависимост от броя на пътниците, превозвани в един автомобил и броя на дните престой в крайния пункт.

Табл. 5.13. Приоритизиране на алтернативите

Брой пътници	Стратегия 1					Стратегия 2				
	MR	CD	CP	ARC	TRC	MR	CD	CP	ARC	TRC
1	1	2	4	5	3	1	3	4	5	2
2	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
3	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
4	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
Брой дни престой	1 пътник									
1	1	2	4	5	3	1	3	4	5	2
2	1	2	4	5	3	1	3	4	5	2
3	1	2	4	5	3	1	3	4	5	2
4	1	2	4	5	3	1	3	4	5	2
Брой дни престой	2,3,4 или 5 пътника									
1	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
2	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
3	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2
4	2	1	3	5	4	1	4	3	5	2

Резултатите от изследването в зависимост от броя на превозваните пътници в един автомобил и един ден престой в крайния пункт, показват следното:

- Оптималната алтернатива при превоз на един пътник и за двете стратегии е превозът с влакове, превозващи автомобили. На втора позиция е превоз с личен автомобил на дизелово гориво за стратегия 1, а за стратегия 2 е превоз с влак и ползване на услугата „rent a car“ в крайния пункт;

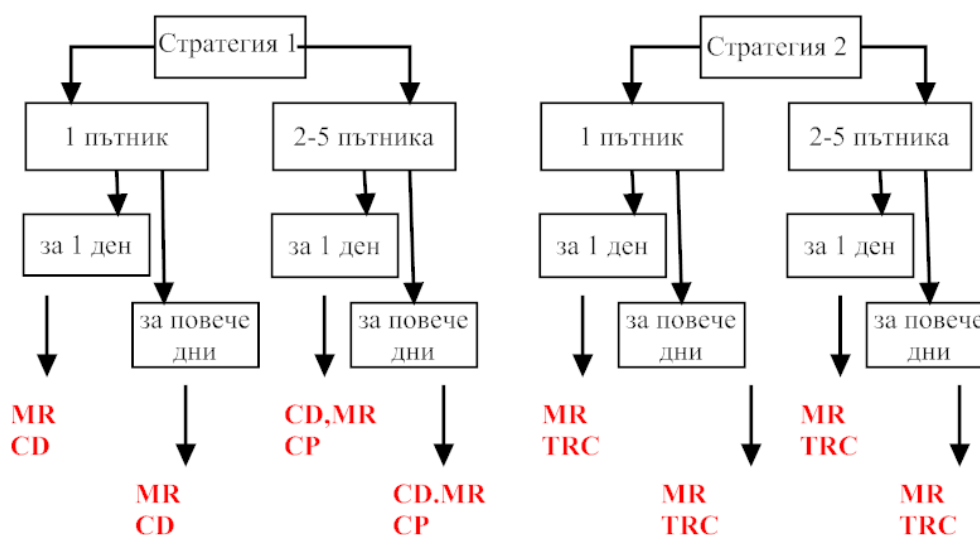
- При превоз от 2 до 5 пътника в един автомобил: Стратегия 1 – алтернативите превоз с личен автомобил с дизелов двигател и превоз с влакове, превозващи автомобили са с близки стойности; Стратегия 2 – оптимална алтернатива е превозът с влакове, превозващи автомобили. На втора позиция е превоз с влак и ползване на услугата „rent a car“ в крайния пункт.

Резултатите от изследването в зависимост от броя на дните престой (над два дни) в крайния пункт и превоз на различен брой пътници в един автомобил показват, че:

- Оптималната алтернатива при превоз на един пътник и за двете изследвани стратегии е превоз с влакове, превозващи автомобили.

- При превоз от 2 до 5 пътника в един автомобил: Стратегия 1: оптимална стратегия е превоз с автомобил с дизелово гориво; Стратегия 2: оптимална алтернатива е превозът с влакове, превозващи автомобили. На втора позиция е превоз с влак и ползване на услугата „rent a car“ в крайния пункт.

На фиг.5.13 е показана обобщена схема на резултатите. За всеки от изследваните варианти е направен анализ на чувствителността на получените решения. Резултатите от изследването показват, че превозът на автомобили на пътниците в специализирани вагони, когато те пътуват в същия влак е ефективна и екологична транспортна технология.



Фиг.5.13. Обобщена схема на резултатите

V.4. МЕТОДИКА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА ВЛАКОВЕ, ПРЕВОЗВАЩИ АВТОМОБИЛИ

V.4.1.ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Ефективната организация на превози с влакове, в чиито състав е включен вагон за превоз на автомобили превозващи вагони, изисква да се определи оптималната схема за превоз по избран оптимизационен критерий.Целта на изследването е да се разработи методика за оптимизиране на схемата на превоз на този тип влакове.

Методиката включва следните основни стъпки:

- Стъпка 1: Дефиниране на алтернативни схеми за обслужване с влакове, в чиито състав има вагон за превоз на автомобили;
- Стъпка 2: Определяне на инвестициите и експлоатационните разходи за алтернативните схеми;
- Стъпка 3: Дефиниране на количествени и качествени показатели за оценка на схемите за превоз. Определяне на тежестите на критериите с прилагане на метода на аналитичната йерархия АНР. Приоритизиране на схемите за превоз с прилагане на метода PROMETHEE;
- Стъпка 4: Избор на оптимална схема по комплексен критерий – минимум на отношението на нормализираните разходи и нормализираните нетни аутранкиращи потоци.

V.4.2.СХЕМИ ЗА ПРЕВОЗ.ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ РАЗХОДИ

Основните схеми за изследване са: Обслужване с дневни влакове; Обслужване с нощни влакове; Смесено обслужване

Годишните експлоатационни разходи за реализиране на превозите са:.

$$(5.04) \quad R_i = R_{i,a} + R_{i,m} + R_{i,l} + R_{i,w} + R_{i,r} + R_{i,b} + R_{i,f}, \text{ лв./год.}$$

където: $I = 1, \dots, t$ е броят на вариантите схеми; $R_{i,a}$ са разходите за амортизационни отчисления и ремонт на специализираните вагони за превоз на автомобили, лв./год.; $R_{i,m}$ са разходите за движение на влак, лв./год.; $R_{i,l}$ са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за локомотивна бригада, лв./год.; $R_{i,w}$ са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за превозна бригада, лв./год.; $R_{i,r}$ са разходите за поддържане и ремонт на пътническите вагони в състава на влака, лв./год.; $R_{i,b}$ са

разходите за амортизации за пътническите вагони в състава на влака, лв./год.; $R_{i,f}$ са разходите за инфраструктурни такси, лв./год.

Определянето на ефективността на закупуване на специализирани вагони за превоз на автомобили е извършено при приемане, че този вид превози се субсидират от държавата в размер на 3700лв./вак. Тази сума е определена от размера на държавната субсидия за пътнически железопътни превози 175 млн.лв./год. В противен случай схемите не са ефективни. Приходите за всяка вариантна схема се определят при положение че 75% от пътуванията са директни София – Бургас (директният влак спира само на Пловдив и Стара Загора, съгласно класификацията направена в гл.IV).

За оценка на ефективността на схемите за превоз на влакове, в чиито състав има специализиран вагон за превоз на автомобили са приложени критериите срок за възвръщане на инвестициите и срок за изплащане.

V.4.3. ДЕФИНИРАНЕ НА КОЛИЧЕСТВЕНИ И КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ОЦЕНКА НА СХЕМИТЕ ЗА ПРЕВОЗ

В изследването са определени следните основни критерии за оценка на схемите за превоз: F1 – Честота на обслужване, т.е. брой влакове, в чиито състав има вагон за превоз на автомобили, бр.вл./ден; F2 – Възможност на пътниците да спят или почиват по време на пътуването; F3 – Възможност пътниците да използват свободното си време при извършване на пътуването за други занимания; F4 – Критерии, свързани с опазването на околната среда; F5 – Предпочитания на пътниците за пътуване през деня или нощта; F6 – Срок на изплащане на закупените специализирани вагони за превоз на автомобили, год.

Критерии, свързани с опазването на околната среда (F4) включват следните под-критерии: F41 – въглероден диоксид (CO_2); F42 – замърсяващи емисии.

Замърсяващите емисии F42 включват четири под-критерия: F421 – въглероден оксид (CO); F422 – азотни оксиди (NO_x); F423 – неметанови въглеводороди (NC); F424 – прахови частици (PM).

Тежестите на критериите се определят по метода на аналитичната йерархия АНР.

Критерият за избор на оптимална схема за превоз е минимумът на отношението на нормализираните разходи към нормализираните нетни аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE.

V.4.4. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА ВЛАКОВЕ, ПРЕВОЗВАЩИ АВТОМОБИЛИ

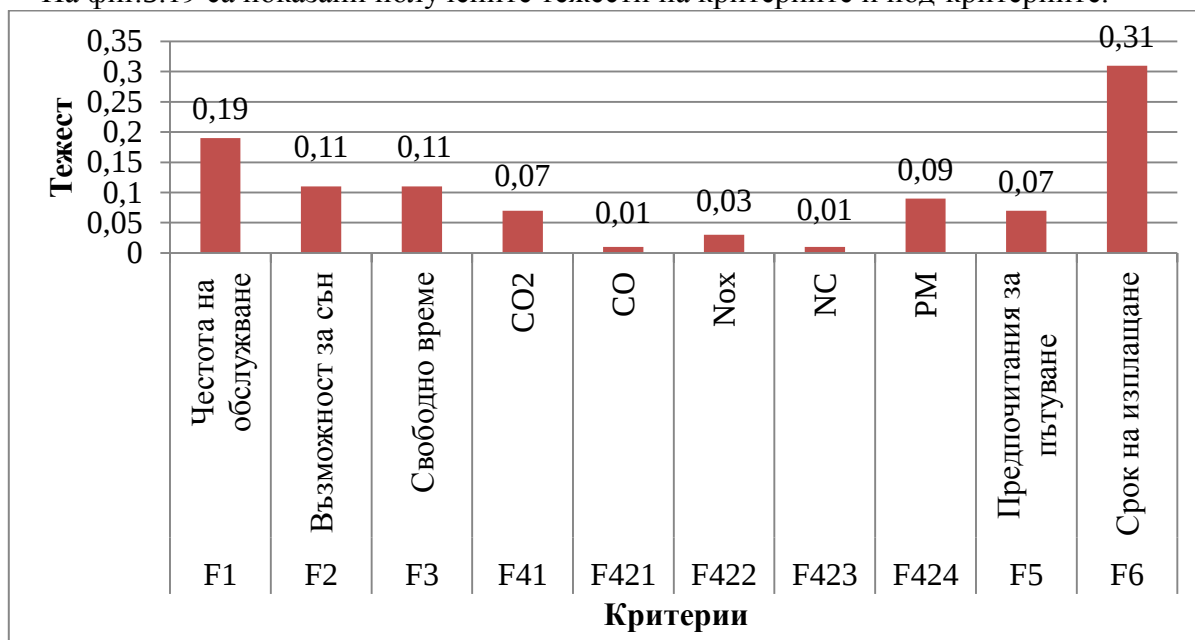
Комплексната методика за оптимизиране на схемата за превоз на влакове, превозващи автомобили е експериментирана за маршрута София – Пловдив – Бургас, който се характеризира с туристически и бизнес пътувания.

Изследвани са следните вариантни схеми: Схема 1: един чифт дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили; една влакова композиция; Схема 2: един чифт дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили; две влакови композиции; Схема 3: един чифт дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили; две влакови композиции; Схема 4: един чифт нощни влакове с вагон за превоз на леки автомобили; две влакови композиции; Схема 5: един чифт дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили, един чифт нощни влакове, с вагон за превоз на леки автомобили; три влакови композиции; Схема 6: един чифт дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили, един чифт нощни влакове, с вагон за превоз на леки автомобили; четири влакови композиции; Схема 7: два чифта дневни влакове с вагон за превоз на леки автомобили, един чифт нощни влакове, с вагон за превоз на леки автомобили; четири влакови композиции;

Вариантните схеми са експериментирани при състав на влака от 4 и от 5 вагона. За всички вариантни схеми е направено следното приемане: В състава на влака да има един специализиран вагон за превоз на лични автомобили (1DDm); В нощните влакове има спален вагон (WL); Влаковете спират на гарите определени за директни влакове, съгласно класификацията на железопътните гари разработена в гл.III; Периодът на движение на влаковете е от юни до август (3 месеца).

За определянето на тежестите на критериите е приложен методът на аналитичната йерархия. Оценките на критериите е извършено от група от 5 експерти, които са дали обща оценка при сравнението по двойки на критериите.

На фиг.5.19 са показани получените тежести на критериите и под-критериите.



Фиг.5.19. Тежести на критериите и под-критериите

Най-голяма тежест имат критериите срок за изплащане (0,31), честота на обслужване (0,19), възможност за сън и почивка (0,11), свободно време (0,11), въглероден диоксид (0,07).

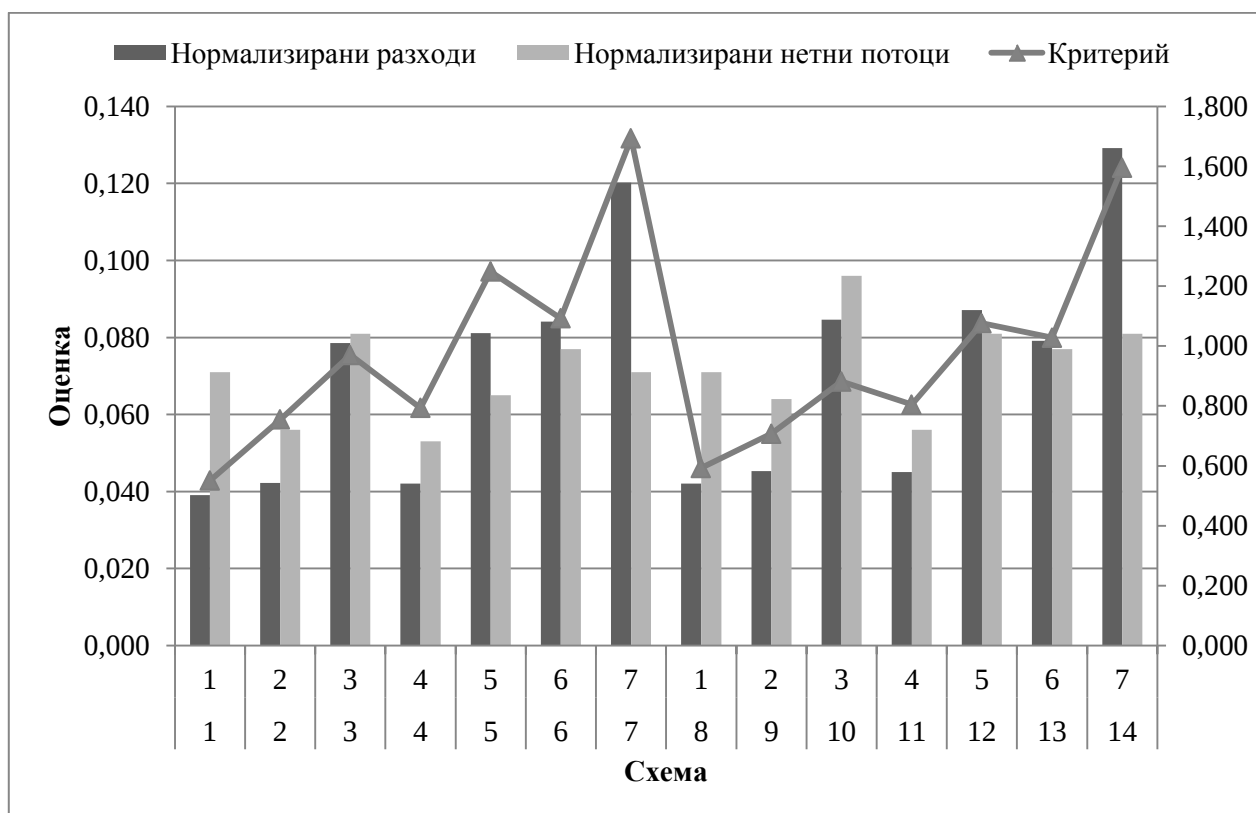
В табл.5.24 и на фиг.5.24 са показани стойностите на нормализираните разходи, нормализираните нетни аутранкиращи потоци и критерия за избор на оптимален вариант.

Табл.5.24. Оптимизационни параметри за вариантите схеми

Вариант	Схема	Разходи, лв./ден	c_i Нормализирани разходи	ϕ_i Нормализирани нетни аутранкиращи потоци	r_i Критерий
1	1	8861,84	0,039	0,071	0,551
2	2	9579,64	0,042	0,056	0,755
3	3	17814,7	0,079	0,081	0,970
4	4	9534,14	0,042	0,053	0,794
5	5	18396	0,081	0,065	1,248
6	6	19068,3	0,084	0,077	1,092
7	7	27257,8	0,120	0,071	1,694
8	1	9540,42	0,042	0,071	0,593
9	2	10262	0,045	0,064	0,707
10	3	19179,4	0,085	0,096	0,881
11	4	10212,7	0,045	0,056	0,804
12	5	19753,1	0,087	0,081	1,076
13	6	17940,1	0,079	0,077	1,028
14	7	29293,6	0,129	0,081	1,595
Общо		226693,7	1	1	

Схема 14 (дневни и нощни влакове със състав 5 вагона; общо 4 композиции и 3 чф.вл./ден) и схема 10 (дневни влакове със състав от 5 вагона, 2 композиции и 2 чф.вл./ден) имат много близки стойности на нетния аутранкиращ поток. Те се приоритизират на първо място, според многокритериалния модел с дефинираните фактори и зададените функции на предпочитанията – максимум или минимум.

Оптимална по отношение на разходите е схема 1 (един чифт дневни влакове, една композиция, състав на влака 4 вагона). С близки стойности е схема 4 (един чифт нощни влакове, две композиции, състав на влака 4 вагона), схема 2 (един чифт дневни влакове, две композиции, състав на влака 4 вагона); схема 8 (един чифт дневни влакове, една композиция, състав на влака 5 вагона), схема 9 (един чифт дневни влакове, две композиции, състав на влака 5 вагона) и схема 11 (един чифт нощни влакове, две композиции, състав на влака 5 вагона).



Фиг. 5.24. Сравнение на вариантите

Оптимална схема по комплексния критерий минимум на отношението на нормализираните разходи и нормализираните нетни аутранкиращи потоци е схема 1 (един чифт дневни влакове, една композиция, състав на влака 4 вагона). Близки стойности има схема 8 със същите параметри, но със състав от 5 вагона. Резултатите по комплексния критерий са близки на резултатите по критерий минимум на нормализираните разходи.

V.5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

V.5.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. На основата на разработената в Глава II методология е съставена комплексна методика за избор на оптимална транспортна технология за екологичен превоз, когато пътникът трябва да ползва автомобил в крайния пункт на пътуването, т. V.2.
2. Дефинирани са критерии и под-критерии за оценка и избор на начин на превоз на пътнически автомобили, т. V.2.1. Дефинирани са стратегии за оценка на избор на транспортна алтернатива – първата с основна насоченост към икономическите фактори, а втората с равнопоставеност на икономическите и екологичните фактори.

3. За двете стратегии най-голямо въздействие имат критериите за емисиите на въглероден диоксид, праховите частици от изгорелите газове, разхода на гориво, цената на билета, времето за пътуване и безопасността, т. V.3.
4. На основата на разработената в Глава II методология е съставена комплексна методика за определяне на оптимална схема за превоз на влакове, в чиито състав има вагони за превоз на автомобили на пътниците, т. V.4.
5. Дефинирани са схеми за превоз на влакове, превозващи автомобили. Дефинирани са количествени и качествени критерии за оценка на вариантни схеми за превоз. Установено е, че при избора на схема за превоз на влакове, превозващи автомобили най-голяма тежест имат критериите срок на изплащане (0,31), екологичните критерии (0,21) и честота на обслужване с влакове (0,19).

V.5.2. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Разработените методики са експериментирани за направление София – Пловдив – Бургас.
2. Методиката за избор на оптимална транспортна технология за екологичен превоз е експериментирана в зависимост от броя на превозваните пътници в един автомобил, и в зависимост от броя на дните престой (над два дни) в крайния пункт. Резултатите показват, че превозът с влакове, превозващи автомобили е най-добрата транспортна политика за екологичен превоз на пътнически автомобили при сравняване на изследваните алтернативи.
3. Разработени са 7 вариантни схеми за превоз на автомобили със специализирани вагони за железопътни превози София – Пловдив – Бургас, като са изследвани варианти със състав на влака от 4 и от 5 вагона.
4. Предложена е организация на обслужване с влакове превозващи автомобили за направлението София – Пловдив – Бургас. Оптимална схема по комплексния критерий е схема 1 – един чифт дневни влакове, една композиция, състав на влака 4 вагона. Близки стойности има схема 8 със същите параметри, но със състав от 5 вагона.

ГЛАВА VI. МЕТОДИКА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

VI.1.ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Обект на изследване в дисертационния труд е превозът с интермодални превози с участието на железопътен транспорт (контейнерни превози и придружен транспорт по технологията Ro-La превози), които се сравняват с алтернативни маршрути в пътната транспортна мрежа с товарни автомобили. В дисертационния труд се разглеждат товарни автомобили, съставени от влекач и ремарке (полуремарке), наречени автовлакове [19], и поради това се използва и това понятие. Тъй-като превозът на товарни автомобили замърсява околната среда е необходимо предварително да се избере вариант за превоз с автомобилен транспорт, който да бъде екологично ефективен, и да се съпостави с превоз с интермодален транспорт. Проблемът за избор на оптимална транспортна технология се разглежда последователно в гл.VI, гл.VII и гл.VIII. В глава VII се разглеждат въпросите, свързани с избор на ефективен маршрут на товарен автомобил по отношение на разхода на гориво и опазването на околната среда. Получените резултати се прилагат в глава VIII за разработване на многокритериален модел за оценка на ефективността от интермодален транспорт.

Целта е да се разработи комплексна методика, основана на интегриран подход за избор на маршрут на товарен автомобил между две точки, като се отчетат комплекс от фактори, свързани с транспортния процес и опазването на околната среда.

На фиг.6.01. е показана схема на комплексната методика за избор на маршрут на пътно превозно средство и на комплексната методика за определяне на ефективността от интермодален транспорт по зададен маршрут.



Фиг. 6.01. Схема на комплексната методика за определяне ефективността от интермодален транспорт

За постигането на поставената цел за разработване на многокритериален модел за избор на маршрут на екологична транспортна технология е необходимо да се решат следните основни задачи, които се явяват основните стъпки на комплексната методика:

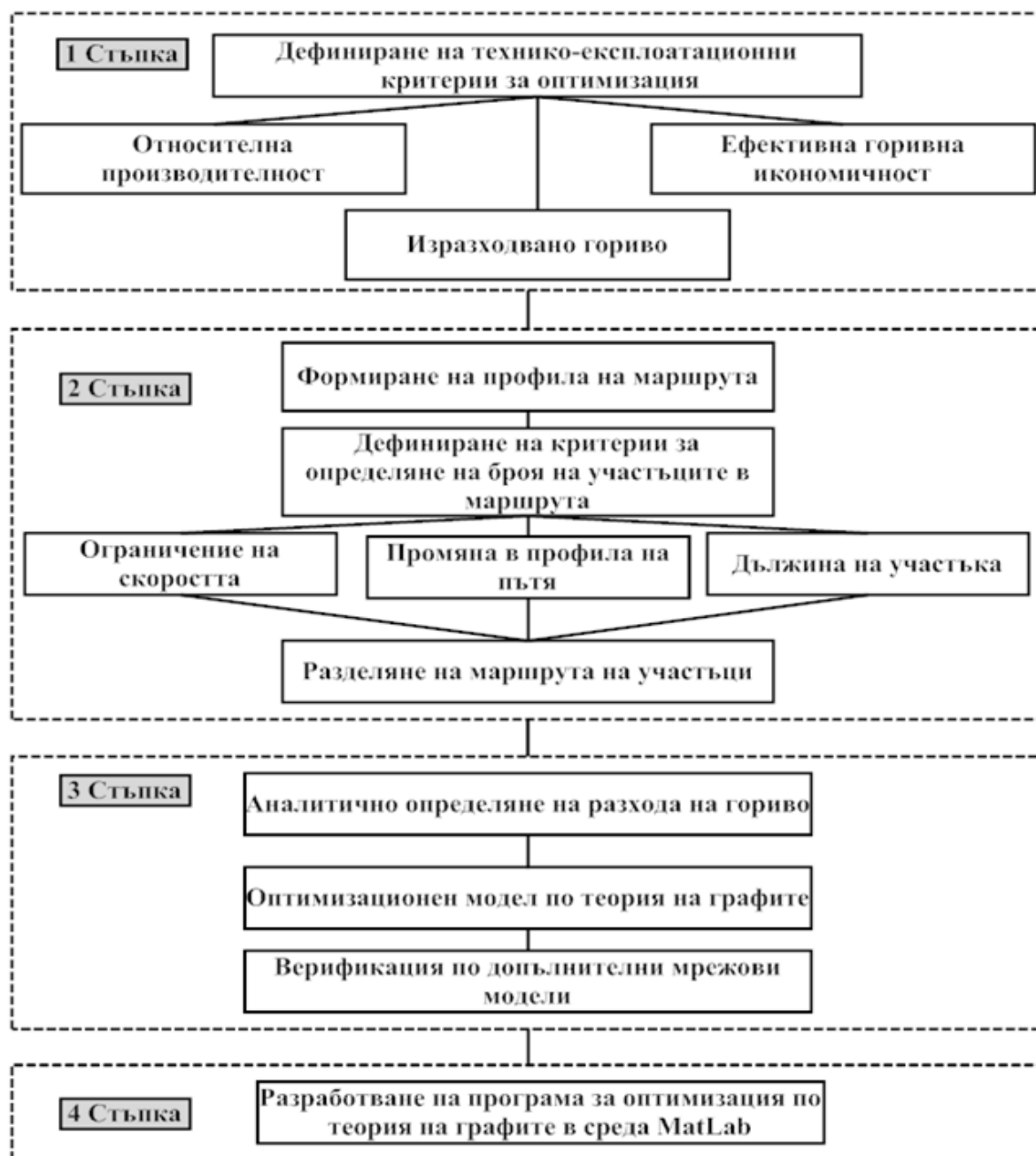
- Разработване на оптимизационен модел за движение на пътно превозно средство. Избор на критерий за оптимизация.
- Разработване на алтернативни маршрути за превоз.
- Дефиниране на допълнителни критерий за оценка на алтернативните маршрути.
- Определяне на тежестите на допълнителните критерии чрез многокритериален анализ по метода на аналитичната йерархия (АНР).
- Приоритизиране на алтернативните маршрути чрез многокритериален анализ.
- Избор на оптимален маршрут за превоз на товарен автомобил по комплексен критерий.

При движението си транспортното средство преминава през различни по отношение на план и профил, допустима скорост и други инфраструктурни и технико-експлоатационни показатели. Управлението на движението зависи от предавателно число на предавателната кутията и скоростта на движение. Този процес може да се представи като многовариантен и да се представи в мрежови вид.

Целта на изследването е да се разработи методика за определяне на енергийната ефективност на товарен автомобил, като се изследват и експериментират различни методи на управление на движението му по зададен маршрут, и се предложи метод за ефективно управление.

VI.2. МЕТОДИКА ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ ПРИ ОПТИМАЛЕН РАЗХОД НА ГОРИВО

На фиг.6.02 е показана принципна схема на методиката.



Фиг.6.02. Схема на методиката

Основните стъпки на методиката са:

- Дефиниране на технико-експлоатационни показатели за оптимизация;
- Формиране на профила на маршрута и разделяне на участъци;
- Оптимизация на движението на товарен автомобил по теория на графите, по избран оптимизационен технико-експлоатационен критерий;
- Разработване на програма за решаване на проблема.

VI.2.1. ТЕХНИКО-ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ПОКАЗАТЕЛИ, СВЪРЗАНИ С РАЗХОДА НА ГОРИВО

Различните стратегии на управление за всеки участък са свързани със скоростта на движение и предавателно число на предавателната кутията, респ. разхода на гориво. Затова е необходимо критерият на оптимизация да зависи от тези фактори. Такива обобщени технико-експлоатационни показатели са: изразходвано гориво за изминаване на определено разстояние; относителна производителност; ефективна горивна икономичност. Всеки един от тези показатели може да бъде основен критерий при извършване на оптимизацията за

управление на движението на товарен автомобил. Целта е да се изследват и експериментират различни методи на управление на движението на товарен автомобил по зададен маршрут, и да се предложи метод за ефективно управление.

VI.2.2. МЕТОДИКА ЗА ФОРМИРАНЕ НА УЧАСТЪЦИ НА МАРШРУТА

Движението на превозното средство между начален и краен пункт се представя във вид на мрежа, формирана от участъците на пътя и варианти на управление на движението (скоростта и предавателното число на предавателната кутията) във всеки участък. Участъците се формират при отчитане на критериите в следната последователност:

1. Ограничение на скоростта.

В първият етап се проверява условието:

$$(6.04) v_{\max(j+1)} \neq v_{\max(j)}, \text{ km/h}$$

Ако това условие е изпълнено се формира участък от маршрута. Участъци с последователно еднакви стойности на $v_{\max}$ се обединяват.

2. Промяна на профила на пътя.

Участъци, които са разположени последователно в наклон (положителни стойности на параметъра IP или отрицателни стойности на параметъра IP) се обединяват. Участъците се формират по следните условия:

$$(6.05) IP_j < 0; IP_{j+1} > 0 \quad \text{или} \quad IP_j > 0; IP_{j+1} < 0$$

Параметърът IP , характеризиращ профила на пътя се определя по формулата:

$$(6.06) IP = \frac{h_{i+1} - h_i}{(l_{i+1} - l_i) \cdot 1000},$$

където $h_{i+1} - h_i$ е разликата в надморската височина на две последователни точки от маршрута, m; $l_{i+1} - l_i$ е дължината на участъка между точки (i+1) и i, km.

При движение в наклон се отчитат промените в профила на пътя. Приема се, че участък се формира, когато е изпълнено условието:

$$(6.07) i_{i+1} - i_i \geq IP,$$

където: IP е предварително зададена стойност на параметъра, например $IP = 0,1$, което отговаря на $5,7^0$ изменение на наклона; $IP = 0,01$, което отговаря на $0,57^0$ изменение на наклона.

3. Дължина на участъка.

Дължината на участъка трябва да е по-голяма от предварително зададена стойност.

$$(6.08) l_{i+1} - l_i \geq C, \text{ km}$$

където C е предварително зададена дължина на участъка, km. В изследването е прието $C = 0,5 \text{ km}$.

Къси и стръмни участъци, както и къси участъци в големи отрицателни наклони, дават отклонения в данните и за това трябва да се обединяват със съседни участъци до формиране на участък с дължина отговаряща на условието.

В зависимост от профила на пътя и зададените критерии за формиране на участъците на маршрута, могат да се сформират варианти с различен брой участъци.

За оценка на вариантите е въведен оценъчен коефициент:

$$(6.09) K_{Var} = \frac{Var_{basic}^{qL}}{Var_i^{qL}}, \text{ коеф.},$$

където: Var_{basic}^{qL} е разходът на гориво за базовия вариант, l; Var_i^{qL} е разходът на гориво за вариант i, l.

Вариантът с минимален брой участъци се приема за базов. Коефициентът K_{Var} показва отклонението на резултатите на вариантите с по-голям брой участъци, спрямо базовия.

При предварително определен разход на гориво с минимален брой участъци и известен оценъчен коефициент може да се прецизира стойността на разхода на гориво, т.е.:

$$(6.10) \quad Var_i^{qL} = Var_{basic}^{qL} \cdot K_{Corr}, 1$$

$$(6.11) \quad K_{Corr} = 1 + (1 - K_{Var}), \text{ коеф.}$$

където K_{Corr} е коригиращ коефициент.

VI.2.3. АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПЪТНИЯ РАЗХОД НА ГОРИВО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

Пътният разход на гориво на дадено транспортно средство (ТС), което се движи с определена скорост на определена предавателното число на предавателната кутия, по път с определено пътно съпротивление се определя с помощта на програма разработена в среда на "MATLAB" във Факултета по транспорт на ТУ-София.

VI.2.4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕОРИЯ НА ГРАФИТЕ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ ПРИ ОПТИМАЛЕН РАЗХОД НА ГОРИВО

VI. 2.4.1. Основни положения

Движението на товарния автомобил може да се представи във вид на мрежа, формирана от участъци от маршрута и вариантите на управление във всеки участък. За тази цел:

- Маршрутът на движение се разделя на отделни участъци, съобразно профила на пътя.
- За всеки участък се определят:
 - Максимално допустима скорост;
 - Възможни скорости за движение при различни предавки;
- Избира се оптимизационен критерий.

Необходимо е да се определи такова управление на движението на товарния автомобил по зададен маршрут, за който сумарните разходи за гориво за отделните участъци от пътя да са минимални. Във всеки отделен участък от пътя разходите за гориво зависят от техническата скорост и съпротивлението при движение (профила на пътя).

VI. 2.4.2. Моделиране на движението на товарен автомобил чрез теорията на графите

Принципът на разделянето на решението на етапи, който е основен за метода на динамичното оптимизиране, се използва за разработване на методика за моделиране на движението по зададен маршрут по избран критерий.

Последователността на съставяне на графовата структура е следната, фиг.6.13:

- За всеки участък се построяват вертикални линии, върху които се разполагат върховете на графа, определени от възможните скорости на движение, фиг. Броят на вертикалните линии е равен на броя на участъците плюс 2. Например за началото на първия участък това е вертикална линия 0, за втория – вертикална линия 1 и т.н.

- В началото на първия участък се задава фиктивен връх 1, който се свързва с върховете, лежащи на линия 1. На вертикална линия U се задават възможните скорости за последния участък.

- В края на маршрута се добавя фиктивен участък и фиктивен завършващ връх Z. В междинните участъци всички върхове се свързват по между си. В края на последния (фиктивен) участък всички върхове се свързват с фиктивния връх Z.

Линиите, свързващи два съседни върха, определят дъга на графа. Всички дъги определят мрежата на графа. За така съставената графова структура за всички дъги се задават стойности, които зависят от избрания параметър на оптимизация. Трябва да се определи преминаването на единица поток през мрежата на графа от началния връх 1 до

последния връх Z , така че да е изпълнен максимум или минимум на зададена критериална функция, т.е. оптимизационният модел е

$$(6.25) \quad Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot f_{ij} \Rightarrow \min(\max)$$

където: f_{ij} е потокът, преминаващ през съответната дъга на графа, C_{ij} е зададена стойност на технико-експлоатационен параметър на оптимизация; n е броят на върховете на графа. Стойностите на f_{ij} могат да бъдат **0** или **1**;

Целевата функция (6.25) изразява минималната (максималната) стойност на потока, преминаващ през графа.

Ограничителните условия са:

- Ограничаване на потока от минималната и максималната пропускателна възможност. В случая минимална пропускателна възможност е **0**, а максималната е **1**:

$$(6.26) \quad f_{ij}^{\max} \geq f_{ij} \geq f_{ij}^{\min}, \text{ т.е. } 1 \geq f_{ij} \geq 0.$$

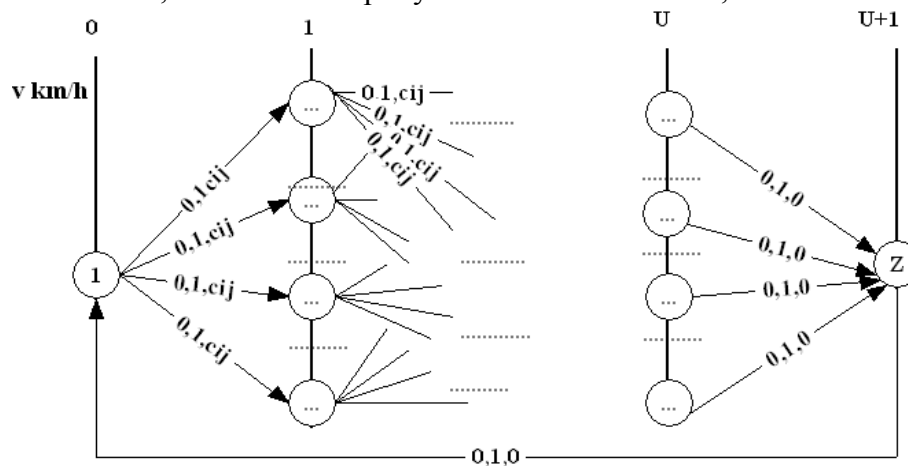
- Във всеки връх на графа трябва входящият поток да е равен на изходящия:

$$(6.27) \quad \sum_{j=1}^n f_{ji} = \sum_{j=1}^n f_{ij}.$$

- Потокът е с положителна стойност $f_{ij} \geq 0$.

За всички дъги, освен тези във фиктивния участък, се задават стойностите: минимална пропускателна възможност 0, максимална пропускателна възможност 1 и стойност на технико-експлоатационния критерий на оптимизация. Всички дъги във фиктивния участък към последния връх Z имат следните параметри: минимална пропускателна възможност 0, максимална пропускателна възможност 1 и стойност на критерия равен на 0.

От последния връх Z към връх 1 се въвежда затваряща дъга с параметри минимална пропускателна възможност, максимална пропускателна възможност, стойност на критерия **0**.



Фиг.6.13. Графова структура

Броят на върховете на графа p се определя по формулата

$$(6.28) \quad p = n.m + 2, \text{ ако броят на вариантите на скоростите са еднакви за всеки участък;}$$

$$(6.29) \quad p = \sum_{i=1}^n m_i + 2, \text{ ако броят на вариантите на скоростите е различен за участъците}$$

където: n е броят на участъците на маршрута, бр.; m_i е броят на вариантите на скоростите в i -ти участък, бр.

Например при 4 участъка на маршрута и 7 варианта на скорости и предавки във всеки участък броят на върховете на графа е $p = 4.7 + 2 = 30$.

Представеният модел е линеен и може да се реши чрез линейна оптимизация.

VI.2.5. МРЕЖОВИ МОДЕЛИ ЗА ВЕРЕФИКАЦИЯ НА МОДЕЛА ЗА ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ ПРИ ОПТИМАЛЕН РАЗХОД НА ГОРИВО

Представянето в мрежова структура позволява да се приложат следните методи:

- Двойствен симплекс метод, представен в мрежови вид;
- Транспортна задача с блокирани превози, представена в мрежови вид;
- Рекурентни уравнения на динамичното оптимизиране, приложени за свързан граф;
- Теория на графите.

VI.2.6. ТЕХНИКО-ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ПАРАМЕТРИ НА ОПТИМИЗАЦИЯ ЗА МРЕЖОВИТЕ МОДЕЛИ

За технико-експлоатационен параметър на оптимизация последователно се избират:

- Максимална относителна производителност:

$$(6.62) \quad Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{Q_{ij}} \cdot f_{ij} \Rightarrow \max;$$

$$(6.63) \quad W_Q = \frac{m.V.100}{(q_r + q_p).L}, \text{tkm/hl}$$

където: $W_{Q_{ij}}$ е относителната производителност по дъга ij , tkm/hl; $q_{p_{ij}}$ е разходът на гориво при превключване от едно предавателно число на предавателната кутия на друго, l.

- Минимален разход на гориво при движение с максимална скорост:

$$(6.64) \quad Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (q_{\max r_{ij}} + q_{\max p_{ij}}) \cdot f_{ij} \Rightarrow \min,$$

където: $q_{\max r_{ij}}$ е разходът на гориво по дъга ij при движение с максимална скорост в участъка; $q_{\max p_{ij}}$ е разходът при превключване от едно предавателно число на предавателната кутия на друго, или при промяна на скоростта на превозното средство при движение с максимална скорост в участъка.

- Минимален разход на гориво

$$(6.65) \quad Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (q_{r_{ij}} + q_{p_{ij}}) \cdot f_{ij} \Rightarrow \min$$

VI.3. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ ПРИ ОПТИМАЛЕН РАЗХОД НА ГОРИВО

При експериментирането на методиката са отчетени следните особености: не се отчитат разходите за товарно-разтоварни операции; не се отчитат разходите на гориво при смяна на предавките; не се отчитат разходите на гориво при преминаване от една скорост на друга при една предавателно число на предавателната кутия; варирането на скоростите е през 10km/h, като се отчитат и предавките; долната граница на вариране на скоростта за всеки от участъците е: $V_{\min} = V_{\max} - 20, \text{km/h}$.

За всеки участък са експериментирани по четири различни управления на движението – скорост на движение и предавателно число на предавателната кутия.

Методиката за управление на движението на товарен автомобил е експериментирана за участъка София – Пловдив. Разгледани са два маршрута: Маршрут 1: София – Пловдив магистрала - път 1; Маршрут 2: София – Пловдив – движение по път от 2-ра категория (стария път) – път 2. В зависимост от профила на пътя и двата маршрута са разделени на 4 участъка

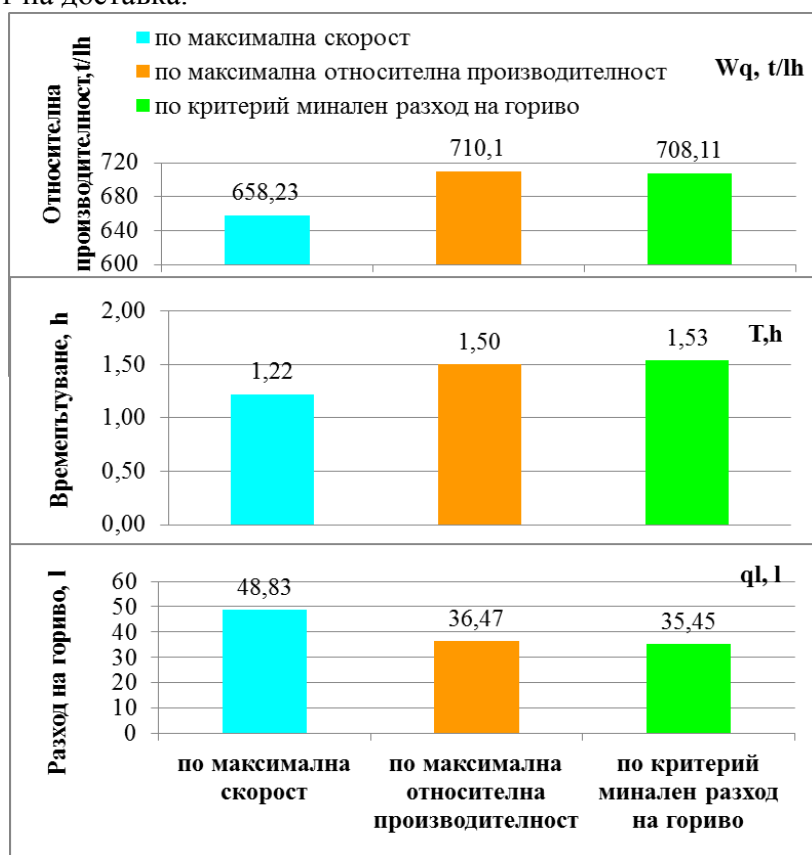
При извършване на оптимизацията, диапазонът на изменение на скоростта при различни предавателни числа на управление за двата маршрута зависи от натовареността на

транспортното средство и посоката на движение. Например, при движение с товар в посока София – Пловдив диапазонът на изменение на скоростта е:

- Маршрут 1: първи участък от 90 km/h до 70 km/h; втори, трети и четвърти участък от 100 km/h до 80 km/h;
- Маршрут 2: първи и втори участъци от 60 km/h до 50 km/h; трети и четвърти участък от 70 km/h до 60 km/h.

На фиг.6.36 е показано сравнение на относителната производителност, времепътуването и разхода на гориво при различни критерии на оптимизация за маршрут София – Пловдив магистрала с товар.

Моделирането на движението по критерий относителна производителност намалява разхода на гориво с около 20%, при минимално увеличаване на времепътуването. Това управление се препоръчва на транспортните фирми при превози, които позволяват минимално увеличение на времепътуването, за сметка на намален разход на гориво, без да се наруши срокът на доставка.



Фиг. 6.36. Сравнение на показателите при различни критерии на оптимизация за маршрут София – Пловдив (магистрала) с товар

Проведеното изследване дава основание да се направят следните по-важни изводи:

- Най-висок разход на гориво се получава при оптимизация по критериите максимална скорост и минимален разход на гориво. В този случай времепътуването е минимално.
- Оптималното разпределение на скоростите на движение на товарния автомобил по критерий минимален разход на гориво повишава времепътуването в сравнение с останалите два критерия.
- Определянето на скоростта по критерий относителна производителност намалява разхода на гориво с около 20%, при минимално увеличаване на времепътуването.
- При превоз на лесно развалящи се товари от най-голямо значение е бързината на превоза. В тези случаи подходящият оптимизационен критерий е максимална скорост и икономично предавателно число на предавателната кутия.

- При превози, които позволяват минимално увеличение на времепътуването за сметка на намален разход на гориво, без да се наруши срокът на доставка, се препоръчва управление на движението по оптимизационен критерий относителна производителност.

- При алтернативни маршрути е необходимо да се направи оценка за избор на оптималния, в зависимост от вида на товара и стратегията на транспортната фирма.

- Изборът на технико-експлоатационен параметър на оптимизация зависи от целите на превозвача.

VI.4. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МРЕЖОВИ МОДЕЛИ ЗА ВЕРЕФИКАЦИЯ НА МЕТОДИКАТА

Всички модели са апробирани за маршрута София – Пловдив магистрала. Изследвани са 4 варианта на изменение на допустимата скорост и предавателното число на предавателната кутия. Критерият на оптимизация е максимална относителна производителност. Моделите са пригодени за решаване със средствата Solver в Excel. В табл.6.03 е показано сравнение на параметрите на изследваните методи.

Табл. 6.03. Сравнение на моделите

Параметри	Брой участъци	Брой варианти на скоростта	Брой възли	Брой неизвестни	Вид на оптимизация
Метод	n	m	p	q	Целева Функция
Правна Формализация	4	4	14	40	min(max)
Обратна Формализация	4	4	14	14	max(min)
Транспортна задача с блокирани превози	4	4	26	196	min
Мрежова транспортна задача	4	4	26	182	min
Теория на графите	5	4	30	41	min(max)
Динамично оптимизиране	4	4	14	4	min(max)

При всички представени мрежови модели оптималния път на скоростта в мрежата се получава индиректно. В резултат на оптимизацията се определя оптималния път на избрания критерий. След това за отделните участъци се определят параметрите скорост и предавателно число на предавателната кутия, съответстващи на критерия. Оптималния път на критерия съвпада с този на скоростта. По този начин се моделира управлението на движение на превозното средство по целия маршрут. От получените оптималните стойности на скоростта се определя и времепътуването.

Моделирането с всеки от разгледаните модели дава идентични резултати. От изследваните мрежови модели най-подходящ за моделиране е този, чрез теория на графите. Той се отличава с малък брой неизвестни, възможност за въвеждане на допълнителни ограничения, оптимизация при максимум и минимум на критерия. Моделът може да бъде приложен за управление на движението и на други видове транспорт.

VI.5. ИЗБОР НА ЕФЕКТИВЕН БРОЙ УЧАСТЪЦИ ЗА РАЗДЕЛЯНЕ НА МАРШРУТА

VI.5.1. ВАРИАНТИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

За определянето на ефективния брой участъци са изследвани следните маршрути:

- София – Пловдив: Вариант 1: 4 участъка; Вариант 2: 11 участъка.
- Пловдив – Бургас: Вариант 1: 18 участъка; Вариант 2: 26 участъка.
- София – Варна: Вариант 1: 19 участъка; Вариант 2: 22 участъка; Вариант 3: 44 участъка.

- София – Драгоман: Вариант 1: 8 участъка; Вариант 2: 16 участъка; Вариант 3: 47 участъка. Изследването е проведено до ГКПП Калотина;
- София – Карлово – Бургас: 47 участъка;
- Варна – Бургас – Пловдив: 40 участъка;
- Варна – Бургас: 22 участъка.

Маршрутите София – Карлово – Бургас, Варна – Бургас-Пловдив и Варна – Бургас са разгледани само в един основен вариант, тъй-като профилът на пътя не позволява да се формират повече варианти на изследване с различен брой на участъците.

За изследваните маршрутите е приложена методиката от т.VI.2.4. Оптимизационният критерий е минимална горивна икономичност (респ. максимална относителна производителност).

VI.5.2. ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ

В табл.6.06 е показано сравнение на разхода на гориво за вариантите на изследваните маршрути и е определена стойността на коефициента K_{Var} . Грешката при моделиране с намален брой участъци е в порядъка до 10%, като за отделните маршрути има различна стойност. При това положение в резултат на проведените изследвания може да се обобщи, че може да се приеме стойност на коригиращия коефициент $K_{Corr}=0,1$.

Табл.6.06. Сравнение на вариантите по коефициента K_{Var} .

Маршрут	ПО-БС		СФ-ВА			СФ-ДГ		
Съотношение	вар.1	вар.1/ вар.2	вар.1	вар.1/ вар.2	вар.1/ вар.3	вар.1	вар.1/ вар.2	вар.1/ вар.3
	-	1,049	-	1,003	0,898	-	0,98	0,929
%	100%	-4,9%	100%	-0,33%	10,18%	100%	1,04%	7,10%

За провеждане на предварителни оценки маршрутът може да се раздели на по-малък брой участъци, за които да се приложи моделът за оценка на енергийната ефективност на движението. Получените резултати могат да се прецизират с коригиращ коефициент. За вземане на управленски решения и избор на оптимални маршрути е необходимо диференциране на по-голям брой участъци и прецизно определяне на разхода на гориво.

VI.6. ВЕРИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИКАТА ПО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ

Верификацията на получените резултати по методиката за определяне на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил е проведена на база данни от проведен тест European Truck Challenge 2014 на пет вида автовлакове за разхода на гориво по различни участъци, [175].

В табл.6.16 е показано сравнение на разхода на гориво по данни от теста и по разработената методика за определяне на енергийната ефективност. Резултатите показват, че разликата в резултатите е средно 7,54%.

Табл. 6.16. Сравнение на теста с резултатите от методиката

Маршрут	Дължина, km	Тест, l	Методика, l	Разлика, %
София - Велико Търново - Варна	430,7	123,54	135,11	9,36
София - Пловдив - Бургас - Варна	524	153,99	162,3	5,4
София - Карлово - Бургас - Варна	532	134,96	124,6	7,67
София – Драгоман	73	20,7	22,54	8,87
София - Пловдив	120,2	37,54	42,45	13,1
Пловдив - Бургас - Варна	406,8	79,99	84,01	5,03
Варна - Бургас	125,5	45,75	50,75	10,93
Варна - Бургас - Пловдив	406,8	129,76	139,86	7,78
Средно претеглена разлика - 7,54%				

Начинът на провеждане на верификацията включва следните основни стъпки:

- Разделяне на маршрута на участъци, които според теста се определят като „леки“, „трудни“ или „средно трудни“ в зависимост от профила на пътя.
- За всеки участък се определя разходът на гориво.
- Определя се разходът на гориво за целия маршрут.

VI.7. МАТРИЧЕН ПОДХОД НА ПРЕДСТАВЯНЕ НА ГРАФОВАТА СТРУКТУРА. РАЗРАБОТВАНЕ НА ПРОГРАМА В СРЕДА MATLAB

VI.7.1. ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА ГРАФОВАТА СТРУКТУРА В МАТРИЦА

VI.7.2. АВТОМАТИЗИРАН ПОДХОД НА ОПТИМИЗАЦИЯ В СРЕДА MATLAB

VI.7.2.1. Линейна оптимизация с MATLAB

Представянето на графовата структура в матричен вид позволява да се използва средата на MATLAB за съставяне на програма за решаване на проблема.

VI.7.2.2. Програмна реализация в MATLAB

VI.7.2.3. Аprobация на автоматизирания подход за оптимизация чрез теория на графите за изследване на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил

Разработеният автоматизиран подход и съставената програма в среда MATLAB е апробирана за моделиране на движението на товарен автомобил. Резултатите се извеждат в средата на MATLAB и се записват във файл в Excel.

VI.8. РАЗРАБОТВАНЕ НА КОНЦЕПЦИЯ ЗА GPRS СИСТЕМА ЗА ПРАКТИЧЕСКО РЕАЛИЗИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ С ОПТИМАЛЕН РАЗХОД НА ГОРИВО

VI.8.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

За практическото реализиране на методиката е необходимо прилагането на мобилна система за спътникова навигация (GPRS система) в товарните автомобили, която да информира водачите за оптималната скорост на движение за движение с минимален разход на гориво по предварително избрания технико-експлоатационен оптимизационен критерий във всеки участък. Необходимите данни, които трябва да се получават от GPRS системата за реализиране на методиката са: координати и изчисление на маршрута между пунктовете; надморска височина; ограничение на скоростта по маршрута; карта на маршрута. За изпълнението на оптималното движение е необходимо проследяване в диспечерски център. Чрез GPRS система може да се следи позицията на транспортното средство навсякъде по маршрута и да се получава обратна информация за скоростта, разходът на гориво, позицията, пътни отклонения, превишена скорост и непланирано спиране. Тези данни могат да се използват за адаптиране на процесите и ефективна превозна дейност в транспортните фирми.

VI.8.2. АПРОБАЦИЯ НА GPRS СИСТЕМАТА

За експериментиране на системата за оценка на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил е проведен експеримент, при който мобилно устройство за спътникова навигация е монтирано на транспортно средство и е извършено проследяване на движението в реално време от работно място, позиционирано в Техническият Университет – София. Системата е експериментирана по маршрута София – Пловдив – Бургас и София – Карлово – Бургас.

VI.9. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

VI.9.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. Разработена е комплексна методика за определяне енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, т.VI.2.
2. Разработена е методика и критерии за разделяне на маршрут на участъци, за които да се приложи оценка на енергийната ефективност, т.VI.2.2.
3. Разработен е оптимизационен модел основан на теорията на графите за определяне енергийната ефективност при движение на товарен автомобил. Движението на

транспортното средство при различни параметри – допустима скорост и предавателно число на предавателната кутия е представено във вид на граф, т.VI.2.4.2.

4. Разделянето на маршрута на участъци зависи от характера на профила на пътя и от стойността на параметъра на пътя. При маршрути с плавни изменения на профила на пътя за параметъра за формиране на участък може да се задават по-големи стойности.
5. Въведени са оценъчен и коригиращ коефициент за определяне на рационален брой участъци, т.VI.2.2, формули (6.10), (6.11). За провеждане на предварителни оценки маршрутът може да се раздели на по-малък брой участъци, за които да се приложи моделът за оценка на енергийната ефективност на движението. Получените резултати могат да се прецизират с коригиращия коефициент.
6. За вземане на управленски решения и избор на оптимални маршрути е необходимо диференциране на по-голям брой участъци и прецизно определяне на разхода на гориво.
7. Разработен е подход за представяне на графова структура в матричен вид и е разработена програма за оптимизация на ефективната горивна икономичността при движение на транспортно средство в среда MATLAB. Разработената програма може да се приложи и за решаване на други оптимизационни задачи в теорията на графите, а също и при друг вид графови структури, т.VI.7.
8. Разработени са допълнителни мрежови модели за верификация на модела по теория на графите. За допълнителните мрежови модели са разработени подходи за решаване в среда Excel, т.VI.4.
9. Установено е, че подходящият модел за представяне на движението на транспортното средство във вид на мрежа е теория на графите.
10. Изборът на технико-експлоатационен параметър на оптимизация зависи от целите на превозвача. При превоз на лесно развалящи се товари от най-голямо значение е бързината на превоза. В тези случаи подходящият оптимизационен критерий е максимална скорост и икономична предавателно число на предавателната кутия.
11. При превози, които позволяват минимално увеличение на времепътуването за сметка на намален разход на гориво, без да се наруши срокът на доставка, се препоръчва управление на движението на товарния автомобил по оптимизационен критерий относителна производителност. При алтернативни маршрути е необходимо да се направи оценка за избор на оптималния, в зависимост от вида на товара и стратегията на транспортната фирма.
12. Разработена е концепция за практическо реализиране на методиката чрез GPRS система в товарните автомобили, която да информира водачите за оптималната скорост на движение с минимален разход на гориво във всеки участък по предварително избрания технико-експлоатационен оптимизационен критерий

VI. 9.2. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Разработената комплексна методика, и програма в среда MatLab са приложени за изследване на маршрути в пътната мрежа на Република България.
2. Установено е, че оптимизацията на движението на товарния автомобил по критерий максимална относителна производителност намалява разхода на гориво с около 20%, при минимално увеличаване на времепътуването.
3. Получените резултати от методиката за изследваните маршрути са верифицирани по данни от тест на разхода на гориво на European Truck Challenge 2014, [158].
4. Установено е, че може да се приеме стойност на коригиращия коефициент:
 $K_{Corr}=0,1$; т.V.5.9.
5. Разработената комплексна методика за моделиране на движението на товарен автомобил и оценка на енергийната му ефективност е експериментирана в реално време за маршрутите: София – Пловдив – Бургас и София – Карлово – Бургас.

ГЛАВА VII. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ИЗБОР НА МАРШРУТ НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

VII.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Целта се разработи интегриран подход за избор на маршрут на превозно средство между две точки, като се отчитат комплекс от фактори свързани с транспортния процес.

VII.2. КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА НА МАРШРУТИТЕ НА ДВИЖЕНИЕ

VII.2.1. ОСНОВНИ КРИТЕРИИ

C1 – Критерии, характеризиращи състоянието на пътя; C2 – Критерии, свързани с пропускателната възможност; C3 – Критерии, свързани с удобството на пътуване; C4 – Критерии, отчитащи метеорологичните условия.

VII.2.2. ПОД-КРИТЕРИИ

Основният критерий, характеризиращ състоянието на пътя (C1) включва следните под-критерии: C11 – наличие на участъци с лоши условия. Тук се има предвид участъци в ремонт, участъци с лошо състояние на маркировката и обезопасителни мантинели; C12 – състояние на пътната настилка. Този под-критерий оценява състоянието на пътната настилка (асфалт) в зависимост от годините на експлоатация – до 5 години, от 5 до 10 години и над 10 години; C13 – надлъжни и напречни неравности на пътя. Този под-критерий отчита неравностите, които са по-големи от 20mm.

Основният критерий, свързан с пропускателната възможност (C2), включва следните под-критерии: C21 – наличие на завои с радиус по-малък от 1000 m. Този под-критерий отчита опасните завои, които изискват особено внимание от страна на водача и намаляват скоростта на движение.; C22 – преминаване през населени места. Този под-критерий отчита ограничението в скоростта на движение при преминаване през населени места.; C23 – денивелация (наклони на пътя). Този под-критерий отчита спусканията и изкачванията при движението по пътя, което се отразява върху разхода на гориво, а също зависи и от уменията на водача.

Основният критерий, свързан с удобството на пътуване (C3) включва следните под-критерии: C31 – заведения и бензиностанции, бр.; C32 – наличие на места за отдих и TIR паркинги. Тези места са важни за почивките на водачите, които са задължителни на определен брой изминати часове в движение.; C33 – околна среда, ландшафт. Много водачи предпочитат да се движат по път с разнообразна околна среда. Повечето автомагистрала предлагат еднообразен ландшафт.

Основният критерий, отчитащ метеорологични условия (C4) включва следните под-критерии: C41 – почистване, опесъчаване. Почистването и опесъчаването е особено важно за зимни условия при залежавания и снегонавявания; C42 – сигнализация. Този под-критерий отчита поставянето на предупредителни табели и специална сигнализация за отбивки по пътя особено при зимни условия.

VII. 3. МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН МАРШРУТ

Методиката за избор на оптимален маршрут, базирана на разработения в Глава II интегриран научен подход, се състои от три стъпки.

- В първата стъпка се определя ефективността на движение на товарен автомобил по всеки зададен маршрут с минимален разход на гориво, чрез оптимизиране на техническите и експлоатационните параметри по методиката изложена в гл. VI.

- Във втората стъпка се прилага методът на Аналитична йерархия (АНР) за определяне на теглата на дефинираните критерии и под-критерии, както и за приоритизиране на маршрутите.

- Третата стъпка включва избор на маршрут по критерий минимум на съотношението на нормализираните разходи на гориво, определени в първата стъпка по оптимизационния модел, изложен в гл. VI и оценките, определени по метода на многокритериалния анализ АНР. В този случай методът PROMETHEE не се прилага, тъй-като не са известни стойностите на под-критериите.

Критерият за избор на оптимален маршрут е минимум на отношението на нормализирани разходи на гориво към АНР оценките. Нормализираните разходи за маршрут i се определят от съотношението на оптимизирания разход на гориво за маршрут i , определен по методиката от Глава VI, основана на теорията на графите, към общия оптимизиран разход на гориво за всички изследвани маршрути.

VII.4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН МАРШРУТ

VII.4.1. ИЗБОР НА АЛТЕРНАТИВНИ МАРШРУТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Методиката е експериментирана за избор на оптимален маршрут за движение на автовлак от София до Варна. Това направление се характеризира със значителен товаропоток между два важни транспортни центъра. Изследвани са следните алтернативни маршрута:

- R1 – Път 1: София – Велико Търново – Варна;
- R2 – Път 2: София – Пловдив – Бургас – Варна;
- R3 – Път 3: София – Карлово-Бургас – Варна;
- R4 – Път 4: София – Карлово – Карнобат - Шумен - Варна;
- R5 – Път 5: София – Пловдив – Карнобат - Шумен - Варна.

Методиката е експериментирана за превозно средство с характеристики посочени в гл. VI.

Изследването е проведено при следните начални условия:

- Изследва се превоз на масови товари. Бързо развалящи се товари не са включени в изследването.

- Максималната скорост на автовлака при движение по магистрала е 100 km/h, а при движение по път II клас е 70 km/h.

- Маршрутите София – Карлово – Бургас – Варна (R3) и София – Карлово – Карнобат – Бургас – Варна (R4) през зимния период не са подходящи за използване, поради затруднения при лоши метеорологични условия.

- Път (R2) София – Пловдив – Бургас – Варна в участъка София – Бургас е автомагистрала и не изисква специални такси. Този участък се затваря за движение на тежкотоварни автомобили за периоди от денонощието за дните събота и неделя.

- Участъкът Бургас – Варна не е автомагистрала. Този участък е труден за движение на автовлак.

Изследвани са следните варианти в зависимост метеорологичните условия: Вариант 1: Метеорологични условия, при които асфалтовото покритие е чисто и температурата на въздуха е над 0° (добри метеорологични условия); Вариант 2: Метеорологични условия със снеговалеж и минусови температури (лоши метеорологични условия).

VII.4.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕГЛАТА НА КРИТЕРИИТЕ И ПОД-КРИТЕРИИТЕ. ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА МАРШРУТИТЕ

За формиране на оценките е използвана групова оценка от шест експерта от транспортни фирми, обслужващи изследваното направление. За отговор на експертите е приложена скалата 1-9 на Саати. Първоначално се прави оценка на основните критерии. Резултатите показват, че при вариант 1 основно значение имат критериите, характеризиращи пътя (C1), а при вариант 2 най-голяма тежест имат критериите, свързани с метеорологичните условия (C4), както и критериите, характеризиращи пътя (C1). За критериите, характеризиращи пътя основен под-критерий е наличието на участъци с лошо състояние на пътното платно (C11). За втората група критерии (C2), свързани с пропускателната възможност, основен под-критерий е преминаване през населените места (C22). За третата група (C3), свързани с удобството на пътуване, основен под-критерий е наличието ресторанти и бензиностанции (C31). Те са получени като локалното тегло за всеки под-критерий е умножено по теглото на основния критерий към когото принадлежат. Локалните тегла показват приоритета в съответната група, докато основните тегла дават приоритета на всички под-критерии комплексно. В табл.7.05 е направено сравнение на основните тегла на

под-критериите за двата варианта. При вариант 1 (добри метеорологични условия) най-голяма тежест имат под-критериите наличие на участъци с лоши условия – С11 (0,349); състояние на пътната настилка – С12 (0,150); наличие на заведения и бензиностанции – С31 (0,138); преминаване през населени места – С22 (0,122); наличие на завой с радиус по-малък от 1000m – С21 (0,103).

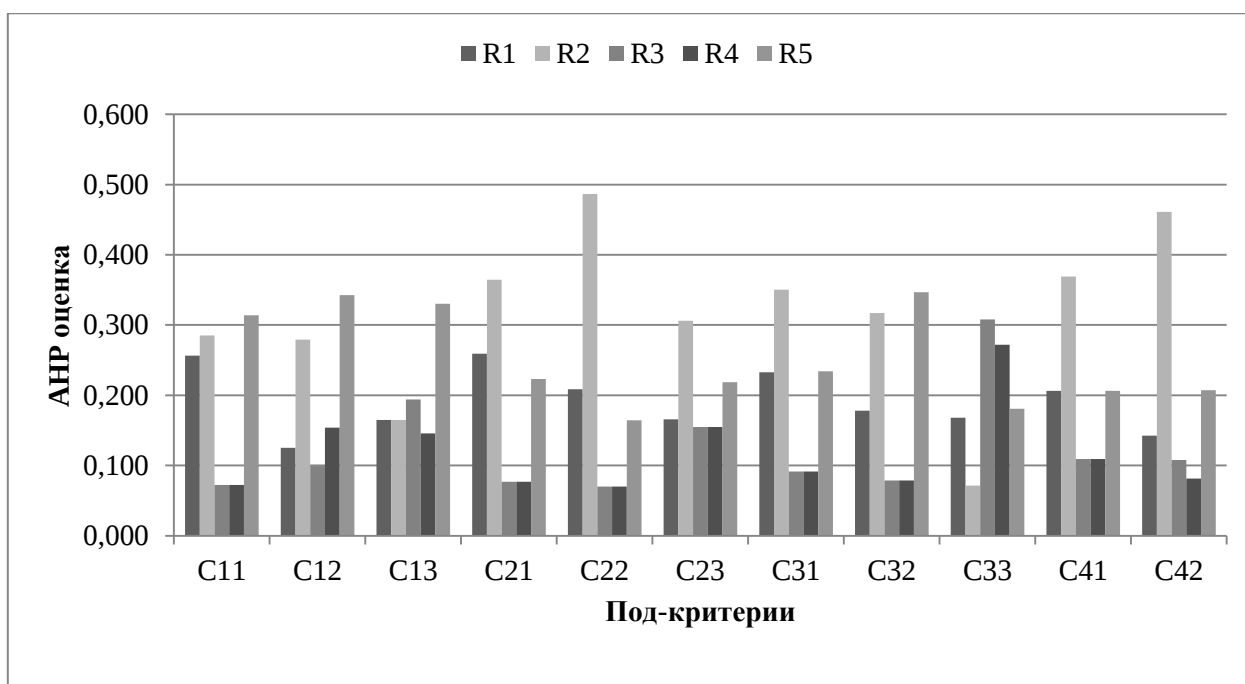
За вариант 2 (лоши метеорологични условия) най-голяма тежест имат под-критериите почистване и опесъчаване – С41 (0,64); наличие на участъци с лоши условия – С11 (0,105).

Табл.7.05. Сравнение на основните тегла на под-критериите

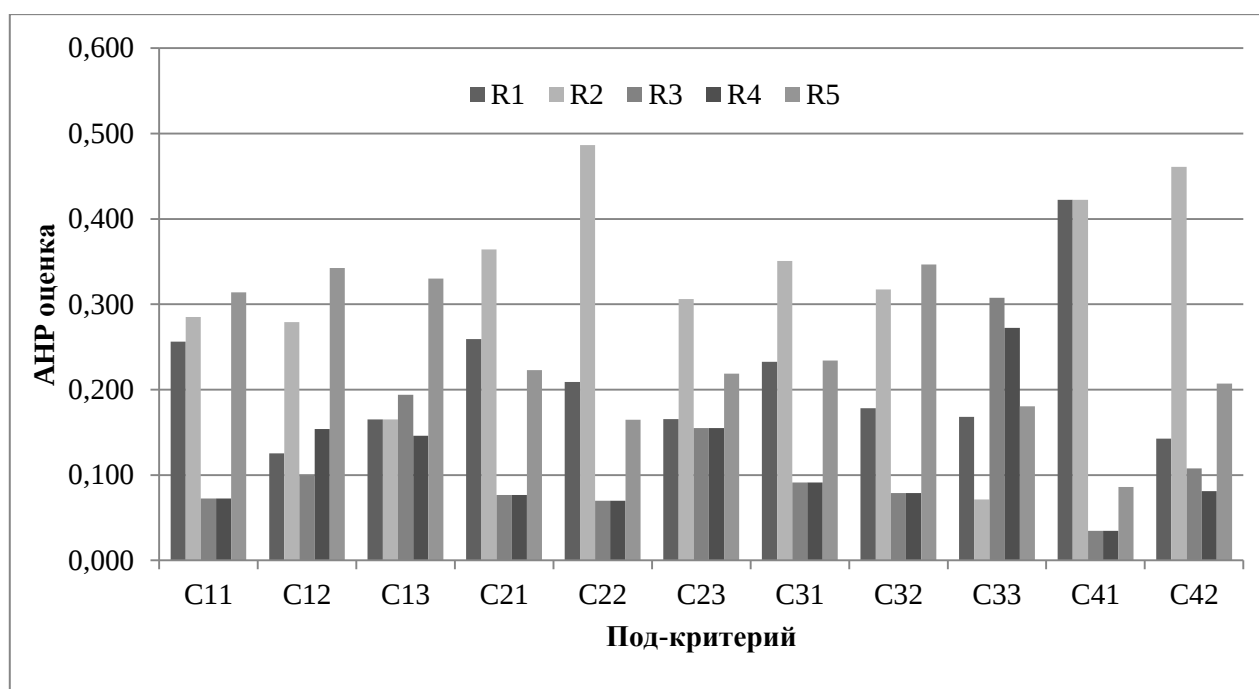
Основни критерии	Основни тегла		Под-критерии	Основни тегла	
	Вар.1	Вар.2		Вар.1	Вар.2
С1:Критерии, характеризиращи състоянието на пътя	0,538	0,161	С11 – Наличие на участъци с лоши условия	0,349	0,105
			С12 – Състояние на пътната настилка	0,150	0,045
			С13 – надлъжни и напречни неравности на пътя.	0,039	0,012
С2:Критерии, свързани с пропускателната възможност	0,253	0,076	С21 – наличие на завой с радиус по-малък от 1000m	0,103	0,031
			С22 – преминаване през населени места	0,122	0,036
			С23 – денивелация	0,029	0,009
С3:Критерии, свързани с удобството на пътуване	0,172	0,052	С31 – Наличие на заведения и бензиностанции	0,138	0,041
			С32 – Наличие на места за отдих и TIR паркинги.	0,017	0,005
			С33 – Околна среда, ландшафт	0,017	0,005
С4:Критерии, свързани с метеорологични условия	0,037	0,712	С41–Почистване, опесъчаване	0,012	0,640
			С42 – Сигнализация	0,025	0,071

На фиг.7.07 и фиг.7.08 е показано класирането на маршрутите за двата варианта.

Резултатите и двата варианта показват, че маршрут R5 е на първо място по всички под-критерии на основния критерий, показващ състоянието на пътя (С1); маршрут R2 е на първо място по всички под-критерии за основния критерий, отчитащ пропускателната възможност (С2). За оценка на стабилността на получените резултати е проведен анализ на чувствителността.



Фиг. 7.07.Класиране на маршрутите по АНР тежестите за всеки под-критерий – Вариант 1



Фиг. 7.08. Класиране на маршрутите по АНР тежестите за всеки под-критерий – Вариант 2

VII.4.3. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН МАРШРУТ

За всеки от изследваните маршрути е извършена оптимизация по разработената в гл.8 методика за определяне на движението на товарен автомобил по критерий минимална ефективна горивна икономичност, като е приложена разработената програма в среда MATLAB по теория на графите.

Като се има предвид разработените в гл.VI критерии за разделяне на маршрута на участъци, с цел прилагане на оптимизационния модел по теория на графите, маршрутите са разделени на следния брой участъци:

- R1 – Път 1: София – Велико Търново – Варна – 44 участъка;
- R2 – Път 2: София – Пловдив – Бургас – Варна – 51 участъка;

- R3 – Път 3: София – Карлово-Бургас – Варна – 69 участъка;
- R4 – Път 4: София – Карлово – Карнобат - Шумен - Варна – 40 участъка;
- R5 – Път 5: София – Пловдив – Карнобат – Шумен – Варна – 48 участъка.

Маршрутът София – Велико Търново – Варна се характеризира със значителен брой участъци с промяна в денивелацията на пътя. Маршрутите София – Пловдив – Бургас – Варна и София – Карлово – Бургас – Варна имат големи положителни и отрицателни наклони, като в участъка Бургас – Варна има голям брой участъци с промяна на денивелацията на пътя.

За вариант 1 и вариант 2 с най-ниски разходи за гориво е движението по маршрут R3 и R4. Оптимален по-отношение на критериите на многокритериалния модел за вариант 1 е маршрут R2. Близки стойности има маршрут R5. За вариант 2 оптимален по-отношение на критериите на многокритериалния модел е също маршрут R2. Близки стойности има маршрут R5.

Път R2 е основно автомагистрала и има само 125 км второстепенен път, който се намира в източната част на страната, характеризираща се с умерен климат. В по-голямата част от годината за него няма екстремални метеорологични условия, като напр. заледряване на пътя, снегонавявания.

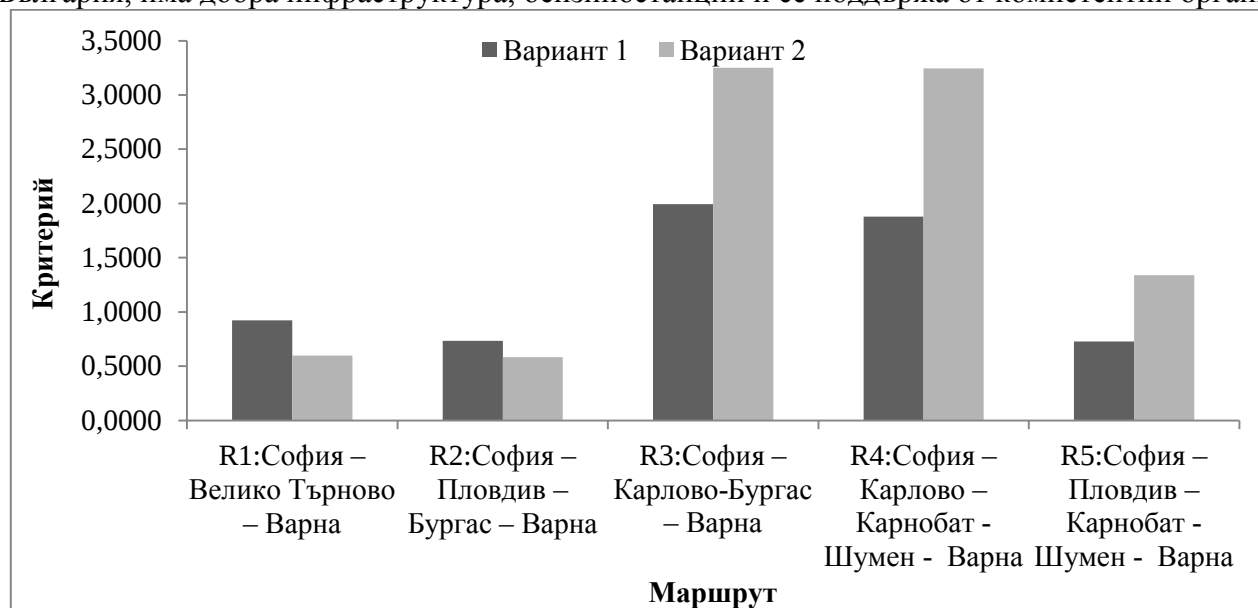
Път R5 в сравнение с път R2 има приблизително същата дължина на второстепенен път, но преминава през планински участък и множество остри завои. За летния сезон двата пътя са равностойни. При големи снегонавявания през зимния сезон път R5 се затваря за движение.

Път R1 има около 280 km второстепенна магистрала и преминава през много населени места, което ограничава скоростта на движение, както и трудно маневриране. От друга страна този път прекосява Северна България, целогодишно е добре поддържан, и има необходимото присъствие на компетентни органи.

На фиг.7.15 е показано сравнение на двата варианта по комплексния оптимизационен критерий - отношението на нормализирани разходи на гориво / АНР оценките.

За Вариант 1 резултатите за маршрутите R5 и R5 са близки. Голяма част от път R2 е автомагистрала, където превозните средства могат да се движат в установен режим. В участъка Бургас-Варна този път има седем спускания и изкачвания, което прави R2 за летния период неконкурентноспособен на път R5, който има слаба денивелация. През зимния сезон, обаче при заледрявания и снегонавявания път R5 се затваря за движение.

За вариант 2 резултатите за маршрут R1 и R2 са близки. Път R1 е главен път за Северна България, има добра инфраструктура, бензиностанции и се поддържа от компетентни органи.



Фиг.7.15.Сравнение на критерия за оценка

VII.5. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

VII.5.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. На основата на разработената комплексна методология в глава II, е разработена оригинална комплексна методика за избор на маршрут за движение на транспортно средство между начален и краен пункт на движение.

2. Дефинирани са основни и под-критерии за избор на маршрут на товарен автомобил между начален и краен пункт, т.VI.2.

3. Приложен е методът на многокритериалния анализ - Аналитичната йерархия АНР за оценка на критериите и под-критериите, и приоритизиране на маршрутите.

4. Въведен е комплексен оптимизационен критерий за оценка на алтернативни маршрути – минимум на отношението на нормализираните разходи за гориво към АНР оценките на маршрутите

5. Изборът на оптимален маршрут е направен по два варианта в зависимост от метеорологичните условия.

6. Комплексната методика позволява да се определи оптимален маршрут, като се отчетат разхода на гориво, инфраструктурни, технологични, сезонни и други фактори.

7. Комплексната методика и методичният подход могат да се приложат и за избор на оптимален маршрут и при други видове транспорт, а също и за оценка на алтернативни маршрути при комбинирани превози.

VII.5.2. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Направено е изследване на пет алтернативни маршрута от републиканската пътна мрежа от София до Варна, и са предложени варианти на обслужване според метеорологичните условия.

2. Установено е, че при добри метеорологични условия основно значение имат критериите, характеризиращи пътя (0,538), а при лоши метеорологични условия най-голяма тежест имат критериите, свързани с метеорологичните условия (0,712), както и критериите, характеризиращи пътя (0,161).

3. При добри метеорологични условия най-голяма тежест има под-критерият наличие на участъци с лоши условия (0,349), а при лоши метеорологични условия най-голяма тежест има под-критерият почистване и опесъчаване.

ГЛАВА VIII. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА ОТ ИНТЕРМОДАЛЕН ТРАНСПОРТ

VIII.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Обект на изследване са два вида интермодални превози: непридружен транспорт, реализиран чрез контейнерни превози и придружен интермодален транспорт (Ро-Ла превози, чрез превоза на тежкотоварни автомобили със специализирани вагони, като водачите пътуват в пътнически вагон.

Методиката за оценка на ефективността от интермодален транспорт включва следните основни стъпки:

- Стъпка 1: Дефиниране на количествени и качествени критерии за оценка на интермодални превози.

- Стъпка 2: Изследване на взаимовръзките между критериите. Определяне на тежестите на критериите.

- Стъпка 3: Избор на варианти на организацията на превозите по зададен маршрут. Изследват се два вида интермодални превози: контейнерни превози и Ро-Ла придружен транспорт. Вариантите за превоз включват превози с железопътен и с автомобилен транспорт.

- Стъпка 4: Стратегии на оценка на вариантите. Тази стъпка се изследват две стратегии, които се различават по вида на оптимизационния критерий за избор на оптимална технология за превоз:

О Стратегия 1: Критерият за избор на оптимален вариант за превоз е максимумът на нетните аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE. В оптимизацията участват всички критерии.

$$(8.01) \quad \varphi_i \rightarrow \max, i = 1, \dots, n$$

където: i е броят на вариантите за превоз, включващи организация с железопътен и с автомобилен транспорт.

О Стратегия 2: Критерият за избор на оптимален вариант за превоз е минимумът на отношението на нормализираните разходи към нормализираните нетни аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE. В този случай в оптимизацията по метода PROMETHEE не участват икономическите критерии – експлоатационните разходи и инфраструктурните такси. Тези критерии се определят за всеки вариант, и в оптимизацията участва тяхната нормализирана стойност.

Стъпка 4 включва следните етапи:

- Определяне на стойностите на количествените критерии за всеки вариант. Това включва: Определяне на емисиите от въглероден диоксид (g), експлоатационните разходи (лв./ден), инфраструктурните и винетни такси (лв./ден), времепътуването (h). Качествените критерии се задават с „да“ и „не“.

- Нормализиране на общите разходи (експлоатационни разходи и инфраструктурни такси) за разглежданите варианти.

- Приоритизиране на вариантите на организация по метода PROMETHEE, като в този случай в изследването не се включват критериите, отчитащи разходи (експлоатационни разходи и инфраструктурни такси, лв.)

- Стъпка 5: Избор на оптимален вариант. Стратегията, която определя оптималното решение е Стратегия 2, при която се прилага комплексен оптимизационен критерий. По резултатите от Стратегия 1 се прави анализ на адекватността на получените решения.

Методиката е апробирана за контейнерни превози по железопътен и автомобилен транспорт за направление София – Варна, и за придружен интермодален транспорт по технологията Ro-La и по автомобилен транспорт за направлението Драгоман – Свиленград.

VIII.2. ДЕФИНИРАНЕ НА КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПРЕВОЗИТЕ. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОВРЪЗКИТЕ И ТЕЖЕСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ

VIII.2.1. КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА

Изследвани са два варианта на формиране на критериите:

- **Вариант 1: Основна (обобщена) група критерии.**

- F1: Екологични критерии. Тези критерии включват емисиите на въглероден диоксид и замърсителите по време на транспортирането. Интермодалният транспорт е екологичен. Повечето железопътни линии, по които се движат интермодални влакове са електрифицирани, и поради това трябва да се отчетат емисиите на въглероден диоксид породени при производството на електроенергия.

- F2: Икономически критерии. Те включват експлоатационни разходи, инфраструктурни и други видове такси, цена на билета при пътнически превози и др.

- F3: Технологични критерии. Тези критерии включват времепътуване, възможност за транспорт от врата до врата, претоварни операции, продължителност на товарно-разтоварни операции.

- F4: Социални критерии. Те включват комфорт, сигурност и надеждност.

- **Вариант 2: Разширена група от критерии.** В този случай основната група критерии е разширена, като е направено част от критериите са представени с под-критерии.

- S1: Екологични критерии. Този критерий е аналогичен на критерий F1 от Вариант 1.

- S2: Експлоатационни разходи за интермодални превози. Те включват разходи за движение на влака (електроенергия/дизелово гориво), разходи за поддържане и ремонт на

подвижния състав, разходи за локомотивна бригада, разходи за амортизации и други експлоатационни разходи.

- S3: Допълнителни такси за превоз. За интермодалния пътнически транспорт – влакове, в чиито състав е включен вагон за превоз на автомобили – допълнителните такси са за превоз на автомобила. При превоз на контейнерни блок влакове допълнителните такси включват такси за ползване на терминали. При превоз по Ro-La технологията допълнителните такси включват такси за превоз на водачите при придружения вид транспорт, такси за ползване на терминали.

- S4: Инфраструктурни такси. Те зависят от разстоянието на транспортиране и от брутната маса на влака. Брутната маса зависи от броя и вида на вагоните в състава на влака; капацитета на железопътната инфраструктура.

- S5: Продължителност на времепътуването между начална и крайна гара. То зависи от условията и състоянието на железопътната инфраструктура и от състоянието и вида на подвижния състав.

- S6: Транспортиране от врата до врата. За интермодалния пътнически транспорт – влакове, в чиито състав е включен вагон за превоз на автомобили, това означава възможност за пътниците да се придвижат със собствения си автомобил от дома си до гарата на започване на пътуването, след това автомобилът да се натовари на специализирания вагон, и в крайната гара на пътуването автомобилът да се разтовари, и пътникът да продължи пътуването си със собствения си автомобил до крайната цел. За интермодалният Ро – Ла транспорт и контейнерният транспорт, транспортиране от врата до врата означава превоз на товара от началния до крайният пункт в една товарна единица.

- S7: Претоварни операции. Те зависят от вида на техническата съоръженост на пунктовете, в които се извършват операциите. При превоза с блок влакове има претоварни операции от/до контейнерните терминали.

- S8: Комфорт. За интермодалния пътнически транспорт – влакове, в чиито състав е включен вагон за превоз на автомобили, това се изразява с възможността пътниците да си почиват по време на пътуване; да използват тоалетна, ресторант, интернет, възможност пътниците да се движат по време на пътуването. При придружения интермодален транспорт Ro-La, при който товарните автомобили се натоварват върху специализирани вагони, водачите могат да почиват по време на пътуването в пътнически спален вагон. При непридружените интермодални превози Ro-La, върху специализираните вагони се натоварват само ремаркета, а водачите не пътуват, и могат да почиват до започване на следващия превоз.

- S9: Сигурност. При интермодалните превози по-голямата част от маршрута между началния и крайния пункт на пътуване е по железопътен транспорт, които се характеризира с висока степен на сигурност, тъй-като движението се извършва по самостоятелна инфраструктура.

- S10: Надеждност. Това означава спазване на срока за доставка на товарите и Графика за движение на влаковете.

- S11: Стабилност. Това означава, че интермодалните превози не се влияят от сезона.

VIII.2.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОВРЪЗКИТЕ И ТЕЖЕСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ

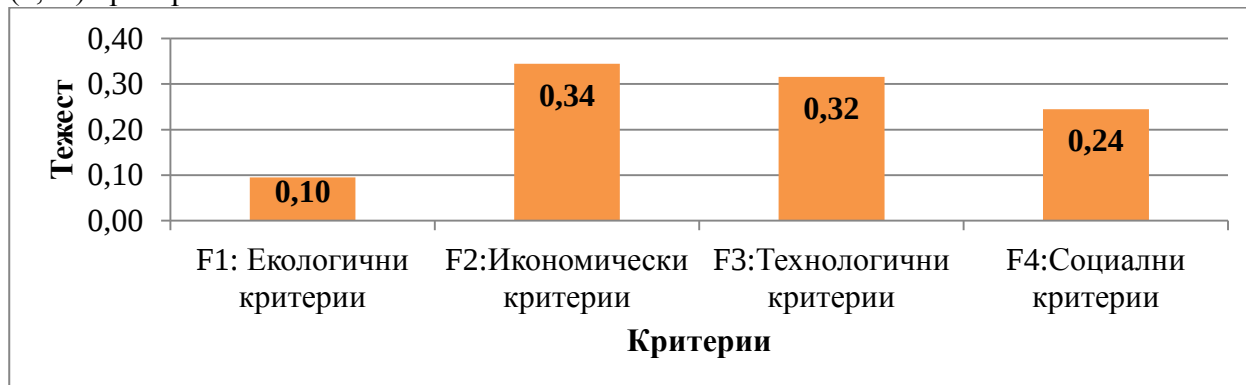
В изследването е приложен методът Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) за изследване на критериите и оценка на техните взаимовръзки, чрез изследване на причините и последиците от критериите за изследваната система.

VIII.3. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ИНТЕРМОДАЛНИ ПРЕВОЗИ

VIII.3.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕЖЕСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ И ВЗАИМОВРЪЗКИТЕ МЕЖДУ ТЯХ

За оценка на критериите по двата варианта е използвана оценката на 23 експерти. Експертите са специалисти с дългогодишен опит в транспорта (6 бр.), специалисти от Изпълнителна Агенция Железопътна администрация и от Изпълнителна Агенция Автомобилна Администрация (4 бр.), ръководители на транспортни компании (5 бр.), научни работници от академичните среди (5 бр.) и водачи на товарни автомобили (автовлакове) (3 бр.).

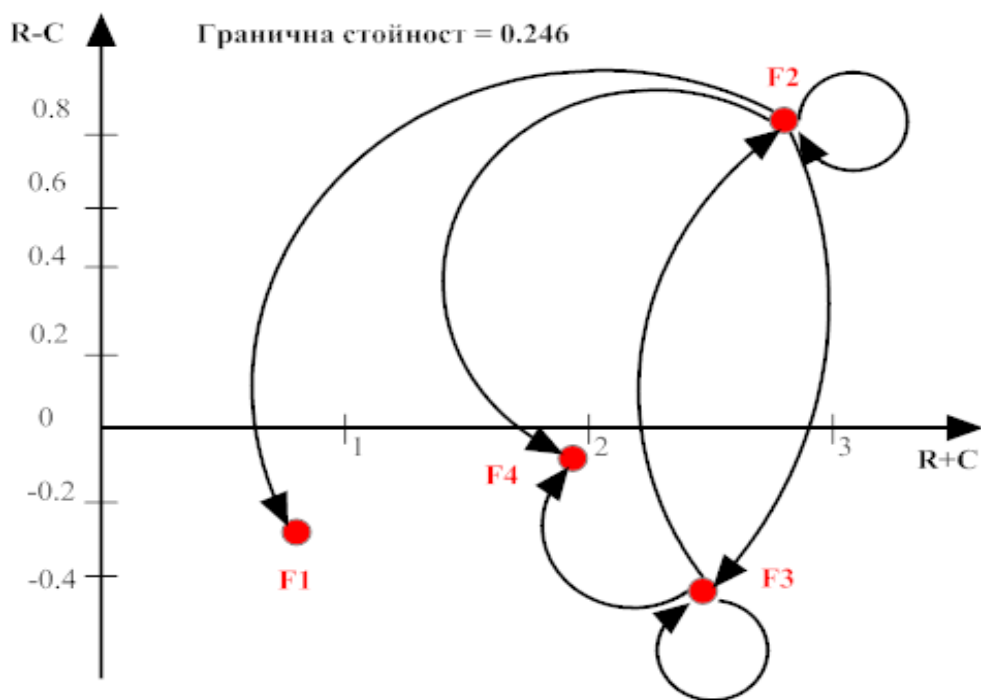
На фиг.8.02 са показани стойностите на тежестите на основната група критерии. Резултатите показват, че най-голяма тежест имат икономическите (0,34) и технологичните (0,32) критерии.



Фиг.8.02. Тежести на основната група критерии

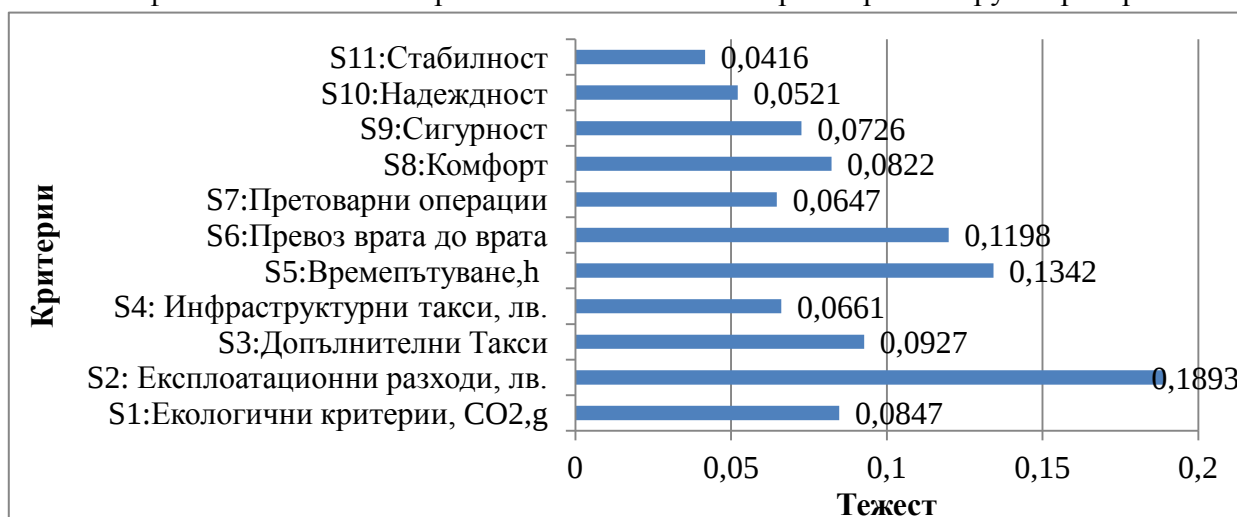
На фиг.8.03 е показана диаграма на връзките за Вариант 1. Резултатите показват следното:

- За критерия F2 – Икономически критерии (R-C) е положително число и (R+C) е голямо число. Това показва, че критерия F2 е ключов фактор при решаване на проблемите.
- За критерия F1– Екологични фактори, стойността на (R-C) е отрицателна и стойността на (R+C) е ниска, което показва, че той е независим и може да бъде повлияна от някой други фактора.
- За критериите F3 и F4 (Технологични и социални критерии) стойностите на (R-C) са отрицателни и стойностите на (R + C) са големи. Това показва, че те имат индиректно влияние върху изследваната система.



Фиг. 8.03. Диаграма на връзките (причина – следствие) за Вариант 1

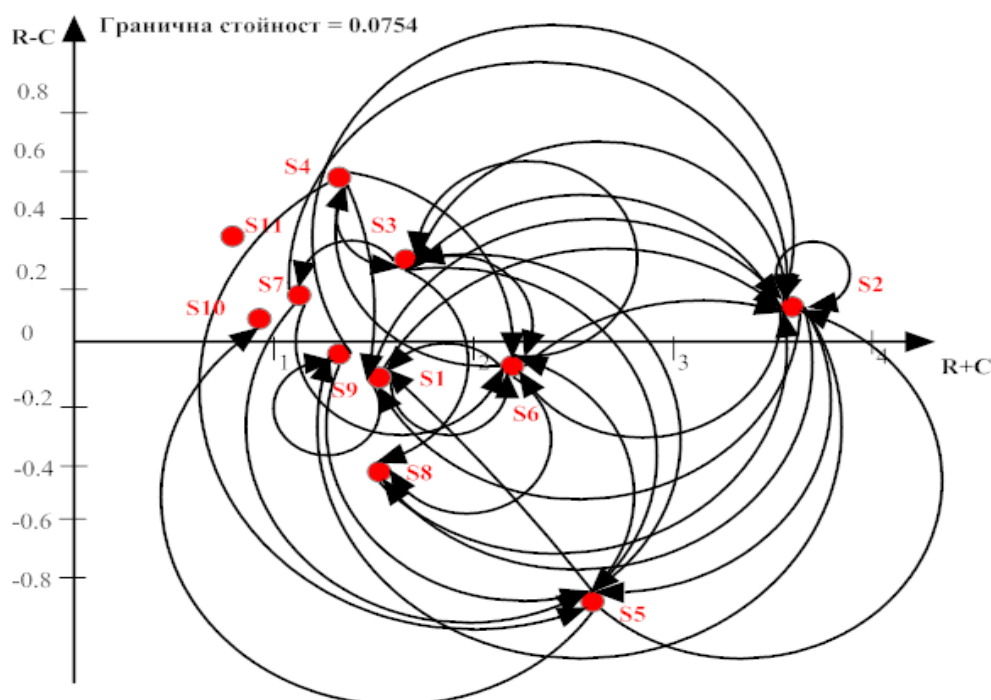
На фиг.8.04 е показано сравнение н тежестите на разширената група критерии.



Фиг. 8.04. Тежести на разширената група критерии

Най-голяма тежест имат критериите експлоатационни разходи (18,93%), времетрайване (13,42%) и превоз от врата до врата (11,98%).

На фиг.8.05 е показана диаграмата причина и следствие (въздействие) за вариант 2.



Фиг. 8.05. Диаграма на връзките (причина – следствие) за Вариант 2.

Резултатите показват следното:

- За критерия S2 ($R-C$) е положително число и ($R+C$) има голяма стойност. Това показва, че критерият S2 има ключово значение за решаването на разглеждания проблем.
- Критериите S5 и S8 имат отрицателна стойност на ($R-C$) и ($R+C$) има голяма стойност. Това показва, че те имат непряко въздействие върху изследваната система.
- Критериите S3, S4, S7, S10 и S11 имат положителна стойност на ($R-C$) и ниска стойност на ($R+C$), което показва, че тези критерии са независими и са повлияни само от някои други фактора.
- Критериите S1, S6 и S9 имат отрицателни стойности на ($R-C$) и ниски стойности на ($R+C$), което показва, че те са независими и могат да бъдат повлияни от няколко други фактора.

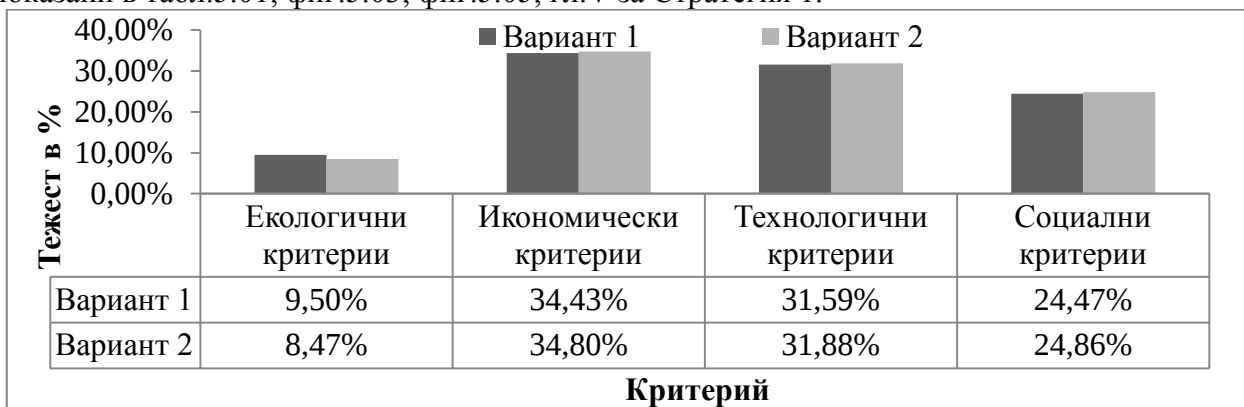
На фиг.8.06 е показано процентното съотношение между критериите за двата варианта.

Сравнението на вариантите е извършено, като критериите от вариант 2 са обобщени. Критериите S2, S3 и S4 са комбинирани и тяхното общо влияние се сравнява с критерия F2 от вариант 1. Критериите S5, S6 и S7 се комбинират и тяхното общо влияние се сравнява с критерия F3 от вариант 1. Критериите S8, S9, S10 и S11 се комбинират и тяхното общо влияние се сравнява с критерия F4 от вариант 1.

Резултатите, показани на фиг.8.06 показват следното:

- Резултатите от двата разгледани варианта са подобни. Това показва, че оценките на експертите са коректни.
- Икономическите критерии имат ключово влияние върху интермодалните превози.

На фиг.8.07 е показано сравнение на резултатите на двата изследвани варианта по DEAMATEL метод и оценките на критериите по метода на аналитичната йерархия АНР, изследвани в гл.IV. Малките отклонения в тежестите на критериите определени по метода АНР, в сравнение с резултатите получени по метода DEAMATEL могат да се обяснят с границите на чувствителност на критериите, показани в табл.8.08. Границите на изменение на критериите по метода АНР са определени, като средни стойности от резултатите, показани в табл.5.01; фиг.5.03; фиг.5.05, гл.V за Стратегия 1.



Фиг.8.06. Сравнение на вариантите по метода DEAMATEL



Фиг.8.07. Сравнение на резултатите от АНР и DEAMATEL методите

VIII.3.2.ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВРЕДНИТЕ ЕМИСИИ ПРИ ДВИЖЕНИЕ НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

Ограниченията за вредните емисии за отработени газове за тежкотоварни автомобили съгласно Европейските стандарти се измерват в g/kWh (спрямо мощността на двигателя). За да се определи количеството на вредните емисии в g, трябва да се знае средната необходима мощност W за движение на товарния автомобил по приетия маршрут. Тя се изчислява по формулата:

$$(8.11) \quad W = F_f v \pm F_i v + F_w v, \text{ kW}$$

където: F_f е силата от пътни съпротивления, F_i е съпротивителната сила от наклона на пътя, F_w е съпротивителната сила от челно въздушно съпротивление, v е скоростта на движение, km/h.

VIII. 3.3. ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА КОНТЕЙНЕРНИ ПРЕВОЗИ ПО ЗАДАДЕН МАРШРУТ

За експериментиране на методиката е избрано направление София – Варна. Изследват се превози с товарен автомобил (автоvlak) и с железопътен транспорт.

Вариантите за транспорт са:

- Варианти на превоз с железопътен транспорт:
 - o Вариант 1 - Товарен блок влак: Илиянци – Горна Оряховица – Варна;
 - o Вариант 2 - Товарен блок влак: Илиянци – Карлово – Карнобат – Варна.
- Варианти за превоз с автоvlak.

Като се имат резултатите от гл.IV са изследвани три варианта на превоз с автоvlak:

- o Вариант 3 - R1: Път 1: София – Велико Търново – Варна;
- o Вариант 4 - R2: Път 2: София – Пловдив – Бургас – Варна;
- o Вариант 5 - R5: Път 5: София – Пловдив – Карнобат - Шумен - Варна.

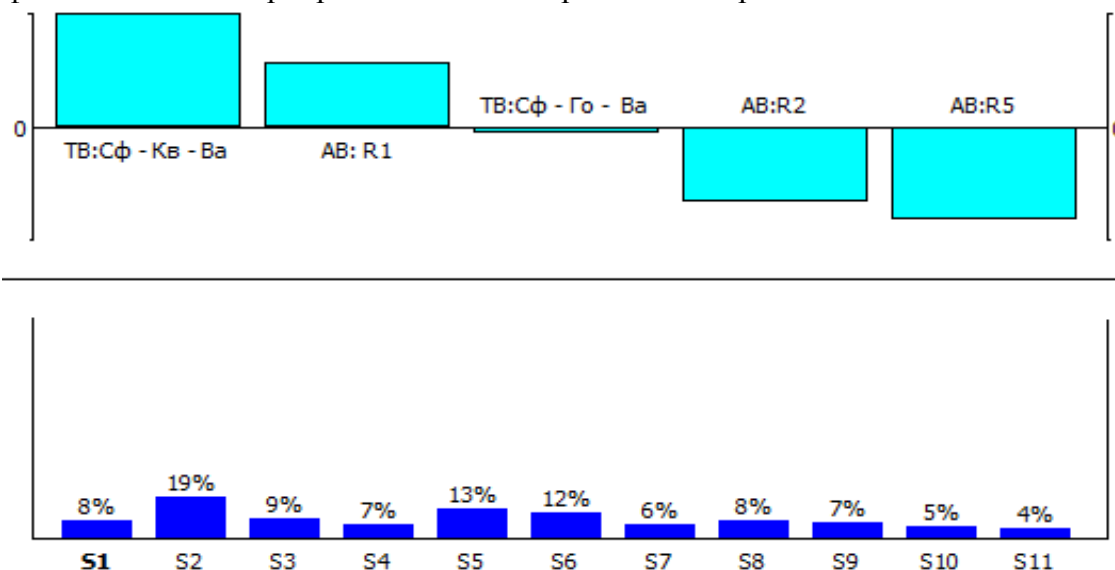
Тъй-като при интермодалните превози има обслужване с повече от един транспорт, при провеждане на изследването не се отчитат разходите за превоз от началните пунктове на натоварване на контейнерите до контейнерния терминал, както и от контейнерния терминал до крайните пунктове на доставка. Товарните влакове са със състав 20 вагона (вагони за превоз на контейнери – Rgs, тара 24t), локомотив 46 и 43 серия, брутна маса на влака 1086 t. Брутна маса на един вагон - 44t, брутна маса на локомотив 46 серия -120t, на локомотив 43 серия – 80t. Вагоните са натоварени с 40-футови контейнери с брутна маса 20t.

Изследването е проведено по два стратегии:

- Стратегия 1. Изследват се всички критерии при приоритизиране на разглежданите варианти на превоз. Оптимален е вариантът с максимална стойност на нетния аутранкиращ поток.
- Стратегия 2. Икономическите критерии не се включват в приоритизирането на вариантите. В този случай се извършва пропорционално коригиране на теглата на критериите. Оптимален е вариантът с минимална стойност на отношението на нормализираните разходи, към нормализираните нетни аутранкиращи потоци.

Стратегия 1:

На фиг.8.10 е дадена приоритизацията на вариантите в среда Visual PROMETHEE.



Фиг.8.10. Приоритизиране на вариантите във Visual PROMETHEE – Стратегия 1

Най-голяма стойност на аутранкиращия поток има превозът с интермодален транспорт – блок влакове по маршрут София – Карлово – Варна. На трета позиция е превозът с блок влакове по маршрут София – Горна Оряховица – Варна.

Получените резултати за Стратегия 1 се запазват непроменени при отчитане на винетната такса за различен период от време (дневна, месечна, седмична, годишна винетка).

Стратегия 2:

По тази стратегия изборът на оптимална технология за превоз се извършва по комплексен критерий – минимумът на отношението на нормализираните разходи и нормализираните нетни аутранкиращи потоци. Оптимизацията по метода PROMETHEE не включва икономическите критерии. Тежестите на критериите, включени в оптимизационния модел по метода PROMETHEE, се определят като към установените по метода DEAMATEL тегла се прибавят пропорционално тежестите на икономическите критерии. Резултатите са идентични със Стратегия 1.

Тъй-като за превозите с железопътен транспорт инфраструктурните такси се определят за влак в зависимост от дължината на маршрута и брутната маса, а при превозите по автомобилен транспорт се заплащат винетни такси, които могат да бъдат за различен период от време (ден, седмица, месец или година), са съставени варианти за оценка на влиянието на винетните такси върху избора на оптимален транспорт. Изследвани са следните варианти:

- Вариант 1: В разходите не се отчитат инфраструктурните такси (винетка за автомобилния транспорт)

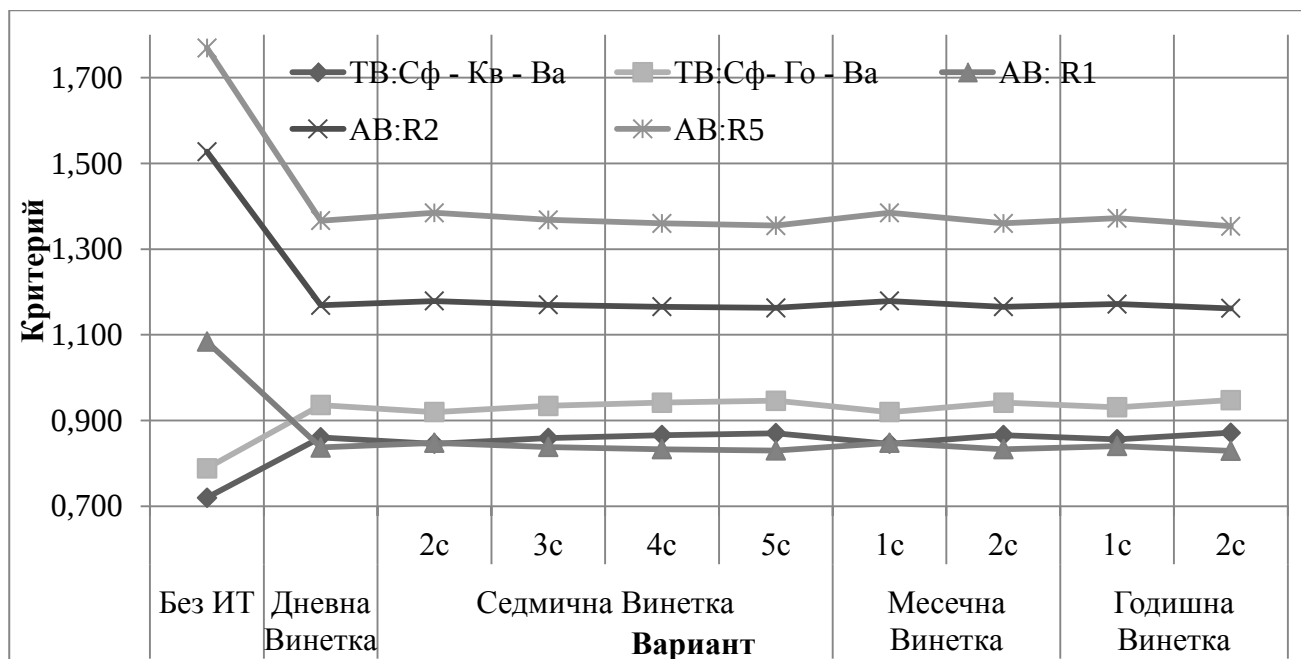
- Варианти от 2 до 11. В експлоатационните разходи се отчитат инфраструктурните такси (винетка). В зависимост по ползването на дневна (ДВ), седмична (СВ), месечна (МВ) или годишна винетка (ГВ), и броят на пътуванията с разгледани следните варианти: Вариант 2: Дневна винетка; Вариант 3: Седмична винетка. Превози 2 пъти в седмицата; Вариант 4: Седмична винетка. Превози 3 пъти в седмицата; Вариант 5: Седмична винетка. Превози 4 пъти в седмицата; Вариант 6: Седмична винетка. Превози 5 пъти в седмицата; Вариант 7: Месечна винетка. Превози 1 път в седмицата; Вариант 8: Месечна винетка. Превози 2 пъти в седмицата; Вариант 9: Годишна винетка. Превози 1 път в седмицата; Вариант 10: Годишна винетка. Превози 2 пъти в седмицата; Вариант 11: Годишна винетка. Превози 5 пъти в седмицата.

Резултатите показват, че превозите с контейнерни блок влакове имат минимални стойности на комплексния оптимизационен критерий. Оптималният вариант е превозът на контейнерни блок влакове по маршрут София – Карлово – Карнобат – Варна.

Изследването показва, че размерът на винетните такси оказва влияние върху приоритизацията на алтернативите за превоз. Резултатите от изследването показват, че, фиг.8.17:

- Когато в разходите не се отчитат инфраструктурните такси (винетни такси) оптималната транспортна технология е превозът с контейнерни блок влакове;
- Превозът с контейнерни блок влакове е оптималният вариант за превоз в случаите, когато: ползва се седмична винетка и се извършват превози два пъти в седмицата; ползва се месечна винетка и се извършва превоз един път в седмицата;
- Превозът с товарни автомобили (автовлакове) по маршрут София – Велико Търново – Варна е оптималната транспортна технология за случаите, когато: ползва се дневна винетка; ползва се седмична винетка и се извършват превози над три пъти седмично; ползва се месечна винетка и се извършват превози над два пъти седмично; ползва се годишна винетка.
- Резултатите за превози с блок влакове и превози с автовлакове по маршрут София – Велико Търново – Варна са близки.

Изследван е случай на двойно увеличение на винетните такси. Получените резултати показват, че при увеличение на винетните такси за автомобилен транспорт (товарни автомобили), оптималната транспортна технология е превозът с контейнерни блок-влакове.



Фиг. 8.17. Сравнение на резултатите при различни варианти на ползване на винетка

За оценка на екологичната ефективност при превоза с контейнерни блок влакове е изследвано влиянието на броя на вагоните в състава на влака върху спестените емисии от превоза по автомобилен транспорт. Резултатите показват, че екологична ефективност имат влаковете със състав над 11 вагона, тъй-като се реализира спестяване на количества от въглероден диоксид.

Резултатите от изследването показват, че при Стратегия 1 оптималната транспортна технология е превозът с контейнерни блок влакове. При Стратегия 2, при която се прилага комплексен оптимизационен критерий, превозите по железопътен и по автомобилен транспорт имат близки резултати. При увеличение на винетните такси за товарни автомобили, оптималната транспортна технология е превозът с контейнерни блок влакове.

VIII.3.4. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПРЕВОЗИ ПО ТЕХНОЛОГИЯТА RO-LA ПО ЗАДАДЕН МАРШРУТ

Разработената методика е експериментирана за оценка на превози по маршрут Димитровград – Свиленград. И в двата пункта има площадка за реализиране на Ro-La превози, по схемата придружен транспорт. Товарните влакове са със състав 20 вагона за превоз на тежкотоварни автомобили, 1 пътнически вагон за превоз на водачите на автомобилите; локомотив 46 и 43 серия, брутна маса на влака 1441 t. Брутна маса на един вагон - 60t, брутна маса на пътнически вагон – 35t; брутна маса на локомотив 46 серия -120t, на локомотив 43 серия – 80t. Вагоните са натоварени с товарни автомобили по технологията придружен транспорт. Изследването е проведено по двете стратегии, според начина на ползване на винетната такса и отчитането на разходите за инфраструктурни (винетни) такси.

При стратегия 1 се изследват всички критерии при приоритизиране на разглежданите варианти на превоз. Оптимален е вариантът с максимална стойност на нетния аутранкиращ поток.

На фиг.8.23 е показано приоритизирането на изследваните алтернативи за превоз. Резултатите показват, че оптималната транспортна технология е превозът Ro-La – придружен транспорт.

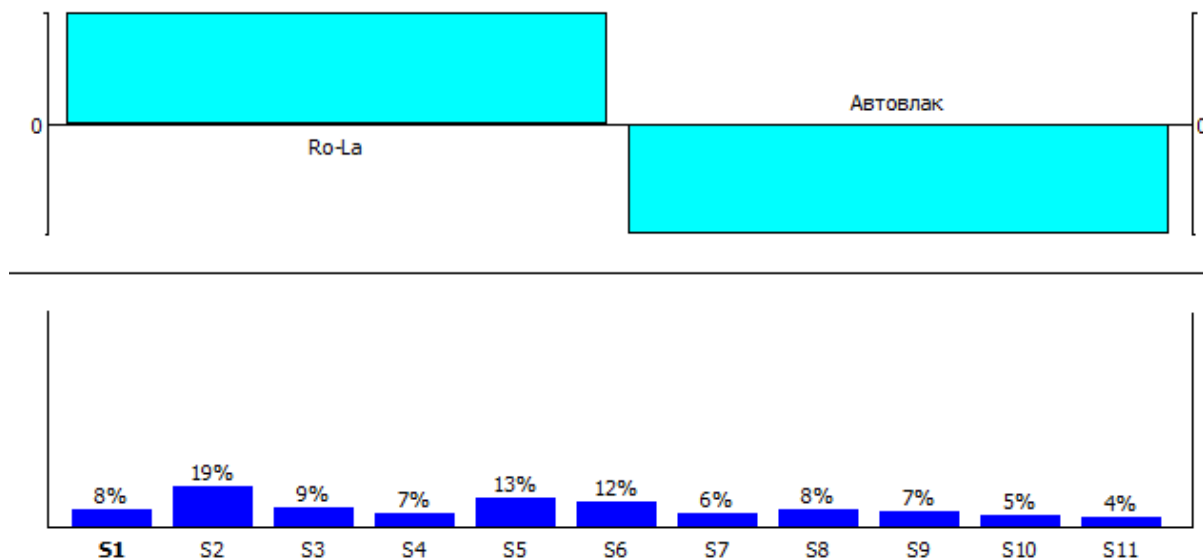
При Стратегия 2 икономическите критерии не се включват в приоритизирането на вариантите. В този случай се извършва пропорционално коригиране на теглата на критериите. Резултатите от изследването показват, че:

- Когато в разходите не се отчитат инфраструктурните такси (винетни такси) оптималната транспортна технология са превози Ro-La ;

•Превозът Ro-La е оптималният вариант и в случаите, когато се ползва винетка за различен период от време.

За оценка на екологичната ефективност при превоза Ro-La е изследвано влиянието на броя на вагоните в състава на влака върху спестените емисии от превоза по автомобилен транспорт. Резултатите показват, че екологична ефективност имат влаковете със състав над 11 вагона, тъй-като се реализира спестяване на количества от въглероден диоксид.

Резултатите от изследването по двете стратегии имат идентични резултати. Оптималната транспортна технология е превозът по Ro-La технология, придружен интермодален транспорт.



Фиг. 8.23. Приоритизиране на алтернативите за превоз във VISUAL PROMETHEE –
Стратегия 1

VIII. 4. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

VIII.4.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. Дефинирани са основна и разширена група критерии за оценка на интермодални превози (за пътническия транспорт – превози на автомобили в специализирани вагони; за товарния транспорт Ro-La технология за превоз на тежкотоварни автомобили със специализирани вагони – придружен транспорт), т.VIII.2.
2. Установени са взаимовръзките между критериите, като са съставени причинно-следствени диаграми на връзките по метода DEMATEL, т.VIII.3.1. Установено е, че екологичните, технологичните и социалните критерии са повлияни от икономическите критерии. Икономическите критерии са с най-голяма тежест от основната група критерии за изследваната система (34,43%). Експлоатационните разходи са с най-голяма тежест от разширената група критерии (18,93%). Претоварните операции (13,42%) и превозът от врата до врата (11,98%) също имат голяма тежест. За оценка на адекватността на определените тежести е използван методът на аналитичната йерархия АНР.
3. Основните критерии дават обобщена информация и могат да се използват за предварителни проучвания на транспорта. Разширените критерии дават подробна информация и могат да се използват при избора на транспортната технология.
4. На основата на разработената комплексна методология в Глава II е разработен многокритериален модел за оценка на ефективността от интермодален транспорт, включващ: определяне на алтернативни технологии за превоз по зададено направление; определяне тежестите на критериите по АНР метод; определяне на стойностите на разширената група критерии за всяка алтернатива; приоритизиране на алтернативите по метода PROMETHEE; избор на оптимална алтернатива за превоз по комплексен критерий.

5. За оценка на адекватността на резултатите от методиката е направено сравнение по две стратегии за избор на оптимизационен критерий – първа: максимум на аутранкиращите потоци, и втора: минимум на комплексен критерий - съотношение на нормализираните разходи към нормализираните аутранкиращи потоци.
6. За изследваните релации е установен броят на вагоните в състава на влака, при които се реализира екологична ефективност, т.е. спестяват се емисии от замърсителите при превоза с тежкотоварни автомобили.
7. Установени са границите на изменение на тежестите на критериите, при които оптималното решение се запазва.
8. Разработената методика може да се прилага за оценка на транспортни технологии и за други релации.

VIII.4.2.ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Методиката за оценка на ефективността от интермодален транспорт е експериментирана за оценка на ефективността на интермодален непридружен транспорт (контейнерни превози) и придружен интермодален транспорт по технологията Ro-La. Изследвани са контейнерни превози София – Варна и Ro-La превози Драгоман – Свиленград.
2. Изследвано е влиянието на винетната такса (по период от време и брой пътувания) върху избора на технология за превоз. Установено е, че за релацията София – Варна при двойно увеличение на винетната такса, оптималната технология е превозът с контейнерни блок – влакове.
3. Установено е, че за стратегия 1 при увеличаване на тежестта на екологичните критерии и двата жп маршрута са ефективни транспортни алтернативи.
4. Резултатите показват, че екологична ефективност при превоза Ro-La имат влаковете със състав над 11 вагона, тъй-като се реализира спестяване на количества от въглероден диоксид.

ГЛАВА IX. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕВОЗ С ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ЗАМЪРСЯВАНЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА

IX.1. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ

Градската транспортна система съчетава различни видове транспорт, които се развиват в зависимост от територията на града, числеността на населението, социално-икономическото развитие и други фактори. При избора на вида на транспорта факторите, по които пътника избира начина си на придвижване от и до работното място (или друга цел на пътуване) са достъпност, времепътуване, честота на превоза, цени др.

Метрополитенът, като екологичен и скоростен релсов транспорт, заема важно място в обществения транспорт при задоволяване потребностите от пътувания в големите градове. Определянето на оптималната схема на движение на влаковете в метрото е важна задача за транспортният оператор, за да се гарантира задоволяване на потребностите на пътниците от превози с минимални транспортни разходи и наличен подвижен състав.

Целта на изследването е да се разработи методика за оценка на видовете пътнически транспорт в градски условия, която да отчете както изискванията на превозвача, така и очакванията на пътниците от превози.

IX.2. ОПТИМИЗИРАНЕ НА СХЕМАТА НА ДВИЖЕНИЕ НА МЕТРОВЛАКОВЕТЕ ЧРЕЗ РАЗМИТ ЛИНЕЕН ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ

IX.2.1. ДЕФИНИРАНЕ НА ВАРИАНТНИ СХЕМИ ЗА ПРЕВОЗ

За метро мрежата се разработват вариантни схеми за превоз с метромаршрути, за които има необходимата инфраструктура за организация на движението.

IX.2.1. РАЗМИТ ОПТИМИЗАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА МЕТРОВЛАКОВЕТЕ В МЕТРОМРЕЖАТА

Целта е да се оптимизира движението на метровлаковете по метромаршрути, така че за всяка вариантна схема f да е изпълнена следната оптимизационна функция:

$$(9.04) \quad R_f = \sum_{k=1}^K x_{kf} \cdot l_{kf} \rightarrow \min, \text{ влак.km/h,}$$

където: $k=1, \dots, K$ е броят на маршрутите в схемата на движение на влаковете в метрото, бр.; x_k е броят на влаковете по маршрут k , бр.вл./h; l_k е дължината на маршрут k , km, f е броят на вариантите схеми.

Оптимална е схемата с минимална стойност на влаккилометрите.

$$(9.05) \quad R_{opt} = \min\{R_1, \dots, R_f\}, \text{ влак.km/h}$$

Оптимизационният модел се прилага по-отделно за всяка вариантна схема.

Задачата се решава при следните ограничителни условия, които имат линеен характер:

1. Осигуряване на необходима честота на превозите за обслужване на пътниците с влакове:

$$(9.06) \quad \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} \geq \frac{60}{I_{mj}}, \text{ бр. вл./h}$$

където: $\gamma_{jk}=1$, ако влак от маршрут k обслужва участък j ; $\gamma_{jk} = 0$, в противен случай.

Условие (9.06) показва, че броят на влаковете в даден участък j не трябва да надвишава броя им, определен в зависимост от интервала I_{mj} , при който е отчетен максималният входящ поток на станциите в участъка. За отчитане на неопределеността на процесите входящият пътничкопоток може да се представи чрез теорията на размитите множества, което позволява да се увеличи адекватността на получените решения.

За тази цел ограничително условие (9.06) се представя в следният вид:

$$(9.07) \quad \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} \geq \tilde{F}_{mj}, \text{ бр. вл./h}$$

където: $\tilde{F}_{mj}$ са размитите стойности на необходима честота на превозите, получена по размитите стойности на входящия пътничкопоток $\tilde{P}_{mj}$ в метростанцията за съответният период, бр. вл./h. Размитите стойности се представят чрез най-високите $P_{mj,U}$ и най-ниските $P_{mj,L}$ приемливи нива на входящия пътничкопоток за съответния период от време, т.е.:

$$(9.08) \quad F_{mj,U} = \frac{60}{I_{mj,L}}, \text{ бр. вл./h}$$

$$(9.09) \quad F_{mj,L} = \frac{60}{I_{mj,U}}, \text{ бр. вл./h}$$

където: $F_{mj,U}$ е най-високото приемливо ниво на честотата на превозите, получено от най-ниското ниво на интервала между влаковете $I_{mj,L}$, бр.вл./h; $F_{mj,L}$ е най-ниското приемливо ниво на честотата на превозите, получено от най-високото ниво на интервала между влаковете $I_{mj,U}$, бр. вл./h.

В знаменателя на условия (9.08) и (9.09) се използва получената корелационна зависимост (9.02).

Размиването на изследваните параметри се представя чрез функцията на принадлежност (на английски: membership function).

За ограничителните условия (9.07) функция на принадлежност е:

$$(9.10) \quad \mu_{F_f} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} \geq F_{mj,U} \\ \frac{\sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} - F_{mj,L}}{F_{mj,U} - F_{mj,L}}, & \text{if } F_{mj,L} < \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} < F_{mj,U} \\ 0, & \text{if } \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} \leq F_{mj,L} \end{cases}$$

2. Ако в даден участък станцията с максимален входящ пътничкопоток е възелна и през нея преминават повече от два маршрута, е в сила следното условие:

$$(9.11) \quad \frac{1}{r} \cdot \sum_{k=1}^K x_{ks} \cdot \gamma_{jk} \geq \frac{60}{I_{mj}}, \min$$

където: r е броят на изходящите маршрути от станцията, бр.

3. Задоволяване на максималния пътничкопоток между две станции в участъка.

$$(9.12) \quad \sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} \cdot a_k \cdot \alpha_k \geq P_{max_j}, \text{бр.пътн./h}$$

където: a_k е броят на седящите и правостоящи места във влак от маршрут k , бр.; α_k е коефициентът на използване на местата във влак от маршрут k , $\alpha_k = 0.9$; P_{max_j} е максималния пътничкопоток между две станции за участък j , бр.пътн./h.

4. Реализиране на организацията на движението на метровлаковете с наличния състав в експлоатация:

$$(9.13) \quad \sum_{k=1}^K x_{ks} \leq W, \text{бр.}$$

където: W е наличният парк от метровлакове в експлоатация, бр.

5. Положителност и целочисленост на решението:

$$(9.14) \quad x_{ks} \geq 0, x_{ks} - \text{цели числа}; \forall k = 1, \dots, K; \forall s = 1, \dots, S;$$

Оптимизационната функция R_f се представя чрез функция на принадлежност в следния вид:

$$(9.15) \quad \mu_{R_f} = \begin{cases} 1, & \text{if } R_f \leq R_{f,L} \\ \frac{R_{f,U}-R_f}{R_{f,U}-R_{f,L}}, & \text{if } R_{f,L} \leq R_f \leq R_{f,U} \\ 0, & \text{if } R_f \geq R_{f,U} \end{cases}$$

където: $R_{f,U}$, $R_{f,L}$ са най-високите и най-ниските приемливи нива на оптимизационната функция, които могат да бъдат постигнати с индивидуална оптимизация, съответно с максимален $P_{mj,U}$ и минимален $P_{mj,L}$ входящ пътничкопоток на размитите числа на входящия пътничкопоток.

Решаването на размития линейен оптимизационен модел се извършва чрез въвеждане на нова променлива λ .

Представеният от (9.04) до (9.07) математически модел се преобразува в следния вид:

$$(9.16) \quad \max \lambda$$

$$(9.17) \quad \lambda \leq \mu_{R_f} = \frac{R_{f,U}-R_f}{R_{f,U}-R_{f,L}}, \text{ за оптимизационната функция}$$

$$(9.18) \quad \lambda \leq \mu_{P_f} = \frac{\sum_{k=1}^K x_k \cdot \gamma_{jk} - F_{mj,L}}{F_{mj,U} - F_{mj,L}}, \text{ за всяко ограничително условие.}$$

$$(9.20) \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

и ограничителни условия (9.11), (9.12), (9.13) и (9.14).

Разработеният модел се прилага за всеки пиков период поотделно.

IX.3. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ИЗБОР НА СХЕМА ЗА ПРЕВОЗ НА МЕТРОВЛАКОВЕТЕ

Маршрутите се формират между станции, които имат необходимата инфраструктура да бъдат начална/ крайна станция в схемата за движение.

Вариантна схема 1 съответства на съществуващата организация на движение на метровлаковете в Софийския метрополитен и включва два маршрута X_1 and X_2 .

- Метромаршрут X_1 : От метростанция „Джеймс Баучер“ до метростанция „Летище София“.

- Метромаршрут X_2 : От метростанция „Сливница“ до метростанция „Бизнес парк София“.

Вариантна схема 2 е подобна на вариантна схема 1, като на маршрутите са разменени крайните станции.

- Метромаршрут X_1 : От метростанция „Джеймс Баучер“ до метростанция „Бизнес парк София“.

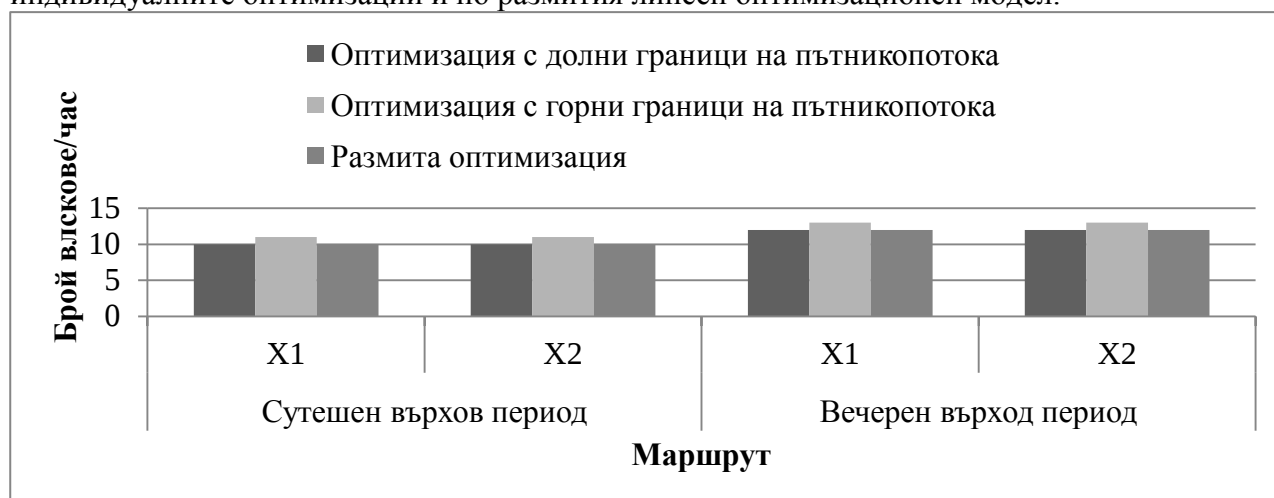
- Метромаршрут X_2 : От метростанция „Сливница“ до метростанция „Летище София“.

Вариантна схема 3 включва три маршрута, като първите два са както при вариантна схема 1, а маршрут X_3 е паралелен на останалите два маршрута в участъка с най-голям пътничкопоток.

- Метромаршрут X_3 : От метростанция „Сливница“ до метростанция „Младост 1“.

Всеки от вариантите се изследва за два пикови периода – сутрешен и вечерен, с продължителност от един час. Това е необходимо поради различния характер на пътничкопотоците. Сутрешният период е от 07:00 до 09:00 часа, вечерният период е от 17:00 до 19:00 часа.

На фиг.9.04 е показано сравнение на резултатите за оптималната схема 1 при индивидуалните оптимизации и по размития линейен оптимизационен модел.



Фиг.9.04. Сравнение на резултатите от индивидуалните оптимизации и размития линейен оптимизационен модел

Резултатите показват следното:

- Броят на метро влаковете за схема 1 и за схема 2 и за двата пикови периода са идентични.
- Не е необходим трети маршрут за Схема 3.
- Оптимална е схема 1 и за двата пикови периода, която съвпада по маршрути със съществуващата организация на превозите.
- Прилагането на размития линейен оптимизационен модел показва идентични резултати с индивидуалната оптимизация по линейен модел с долните граници на входящия пътничкопоток.
- Прилагането на размита линейна оптимизация позволява постигане на по-голяма адекватност на получените решения.
- Резултатите показват, че и за двата пикови периода не е необходим третият маршрут ХЗ.
- За вечерния пиков период е необходимо да се увеличи броят на влаковете, за да се задоволят нуждите на пътниците.
- Организацията на влаковете може да се осъществи с наличният подвижен състав.

В табл.9.07 е показан интервалът на движение, броя на влаковете за двата пикови периода, получени по методиката и по съществуващото състояние на софийското метро.

Табл. 9.07. Сравнение на резултатите със съществуващото положение

Участък	Сутрешен пиков период				Вечерен пиков период			
	Съществуващо положение		По методиката		Съществуващо положение		По методиката	
	I_m , min	Бр.влакове за час	I_m , min	Бр.влакове за час	I_m , min	Бр.влакове за час	I_m , min	Бр.влакове за час
I	3,75	20	3,75	20	3,50	18	2,44	25
II	6,06	10	6,60	10	7,00	9	5,30	13
III	6,06	10	7,00	10	7,00	9	5,30	12
IV	6,6	10	6,60	10	7,00	9	6,5	12

IX.4. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ТРАНСПОРТНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ЗАМЪРСЯВАНЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА

Целта на изследването е да се разработи методика за оценка на видовете пътнически транспорт в градски условия, която да отчете както изискванията на превозвача, така и очакванията на пътниците от превози. Приложена е комплексната методология, разработена в Глава II, основана на интегриран научен подход за многокритериална оптимизация за избор на транспортна технология за превоз.

IX.4.1. ДЕФИНИРАНЕ НА КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА

Изследвани са следните основни критерии, разделени в четири групи: Екологични (U1), Икономически (U2), Технологични (U3), Социални (U4). За всяка от изследваните групи основни критерии са дефинирани под-критерии. Първата група основни критерии (U1) включва следните под-критерии: U11 – въглероден диоксид (CO₂), g; U12 – замърсяващи емисии, g. Замърсяващите емисии включват четири под-критерия: U121 – въглероден оксид (CO), g; U122 – азотни оксиди (NO_x), g; U123 – неметанови въглеводороди (NC), g; U124 – прахови частици (PM), g. Втората група критерии (U2) включва следните под-критерии: U21 – транспортни разходи за гориво (ел. енергия), лв.; U22 – цена на билета, лв./пътн.; U23 – Преки експлоатационни разходи, лв./пътн. Третата група критерии (U3) включва следните под-критерии: U31 – времепътуване, min; U32 – честота на превоза, бр. транспортни средства/h. Четвъртата група критерии (U4) включва следните под-критерии: U41 – комфорт; има се предвид възможност за седящо място по време на пътуване, или удобно пътуване на правостоящите. U42 – сигурност; това означава безопасност по отношение на пътно-транспортни произшествия. U43 – надеждност; тук се има предвид точност на изпълнение на разписанието за движение. U44 – стабилност; тук се има предвид независимост от метеорологичните условия.

IX.4.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕГЛАТА НА КРИТЕРИИТЕ

За определяне на теглата на критериите е приложен методът АНР. В изследването са предложени две стратегии за оценка на критериите. Стратегия 1, наречена "Реална", съответства на текущото състояние на транспорта. Стратегия 2, наречена "Оптимистична", се фокусира върху опазването на околната среда.

IX.4.3. ВАРИАНТИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

В изследването се разглеждат следните варианти (алтернативи) на извършване на пътуването: Превоз с метрополитен; Автобус; Автомобил.

Тези алтернативи за превоз са избрани за изследване на успоредни маршрути от транспортната схема на София. Изследван е участъкът метростанция „Софийски Университет“ – метростанция „Г.М.Димитров“. В този участък се обслужва от превози с метрополитен и по успореден маршрут се движи автобус 280. По участъка се движат и автомобили.

IX.4.4. ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА АЛТЕРНАТИВИТЕ ЗА ПРЕВОЗ

След определянето на теглата на критериите в третата стъпка се прилага методът PROMETHEE за приоритизиране на изследваните алтернативи за транспорт.

Критерият за избор на оптимална схема за превоз е минимумът на отношението на нормализираните разходи към нормализираните нетни аутранкиращи потоци, определени по метода PROMETHEE, (глава II):

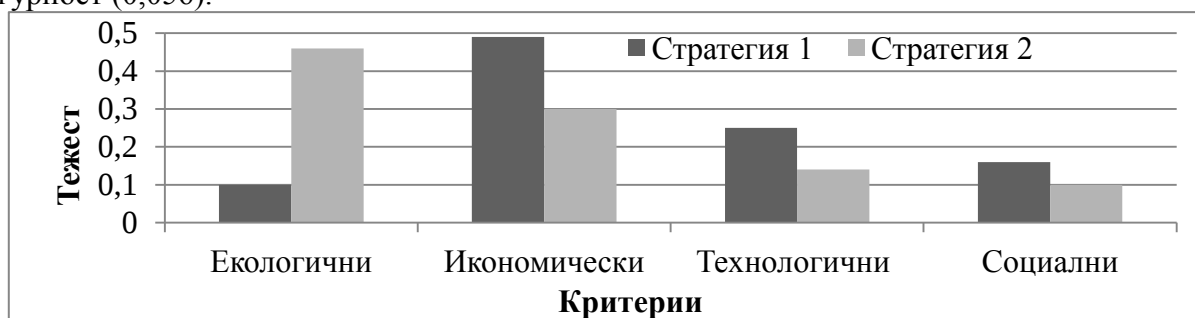
IX.5. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МНОГОКРИТЕРИАЛНИЯ МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ТРАНСПОРТНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ГРАДСКИ ТРАНСПОРТ

IX.5.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТЕЖЕСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ

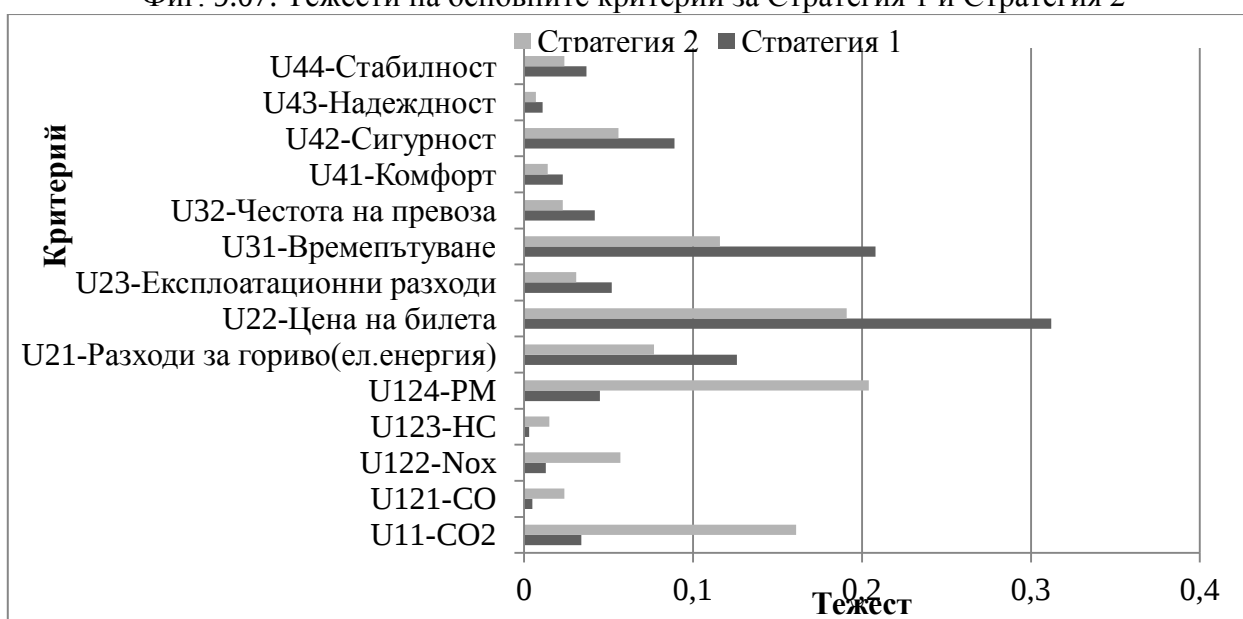
Оценките за критериите са направени от група от 5 експерти, които дават обща оценка на критериите по двете изследвани стратегии. На фиг.9.07 е показано сравнение на тежестите на основните критерии, а на фиг.9.08 на под-критериите за Стратегия 1 (Реална) и Стратегия 2 (Оптимистична).

Най-голяма тежест за Стратегия 1 имат критериите цена на билета (0,312), времепътуване (0,208), разход на гориво, ел.енергия (0,126) и сигурност (0,089).

За Стратегия 2 най-голяма тежест имат критериите замърсяване от прахови частици (0,204), цена на билета (0,191), замърсяване от въглероден диоксид (0,13), времепътуване (0,161), замърсяване от азотни оксиди (0,057), разход на гориво, ел.енергия (0,077) и сигурност (0,056).



Фиг. 9.07. Тежести на основните критерии за Стратегия 1 и Стратегия 2



Фиг. 9.08. Тежести на критериите за Стратегия 1 и Стратегия 2

IX.5.2.ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТОЙНОСТИТЕ НА КРИТЕРИИТЕ

IX.5.3. ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА АЛТЕРНАТИВИТЕ ЗА ПРЕВОЗ

IX.5.3.1. Приоритизиране на алтернативите за превоз по критерий максимален нетен аутранкиращ поток

Резултатите показват, че и за двете стратегии алтернативата с най-висок приоритет е превозът с метрополитен. При Стратегия 1 на второ място е превозът с автомобил, а за Стратегия 2 на второ място е превозът с автобус. Разликата се дължи на тежестите на критериите, които при Стратегия 2 имат по-високи стойности за екологичните критерии, т.е. превозите са насочени към опазване на околната среда.

За двете стратегии е направен анализ на чувствителността на решението, т.е. до какво изменение на стойностите на критериите се запазва оптималното решение.

IX.5.3.2. Приоритизиране на алтернативите по комплексен критерий – съотношение на нормализираните експлоатационни разходи и нормализираните нетни аутранкиращи потоци

В този случай при приоритизирането по максимална стойност на нетните аутранкиращи потоци, икономическите критерии не се разглеждат. Те се отчитат чрез нормализираните експлоатационни разходи в комплексния критерий по формула (9.21).

В табл.9.17 са показани нормализираните разходи, нетните аутранкиращи потоци, нормализираните им стойности и комплексния критерий на оптимизация за Стратегия 1.

Табл.9.17. Резултати по комплексен критерий – Стратегия 1

	Разходи, лв./пътн.км	c_i Нормализирани разходи	Нетни Аутранкиращи потоци	φ_i Нормализирани нетни аутранкиращи потоци	r_i Критерий
Метро	0,015	0,068	0,572	0,524	0,130
Автобус	0,036	0,163	-0,097	0,175	0,930
Автомобил	0,17	0,769	-0,475	0,301	2,556

Приоритизирането на алтернативите и за двете стратегии има сходни резултати. Оптималната алтернатива е превозът с метрополитен, на втора позиция е превозът с автобусен транспорт и на трета – превоз с автомобил.

IX. ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ

IX.6.1. ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. Разработена е методика за избор на оптимална схема на движение на метровлакове, т. IX.2.
2. Разработен е многокритериален модел за избор на екологична технология за превоз, базиран на въведената комплексна методология в Глава II, т. IX.4.
3. Дефинирани са критерии за оценка на алтернативни технологии за превоз, т. IX.4.1.
4. Методиката за избор на оптимална схема на движение на метровлакове може да се прилага и за други периоди от денонощието. Методиката може да бъде приложена и при разширяването на метрото с допълнителни метро линии, както и при метро системи в други държави. Предложената методика може да подпомогне и улесни решенията, свързани с планирането на маршрути; планирането на графика за движение на влаковете; проучването на допълнителни маршрути, свързани с увеличения пътничкопоток, извънредните ситуации в станциите и други причини.
5. Многокритериалният модел за избор на екологична технология за превоз може да се приложи и за други участъци, както и комплексно за приоритизиране на градската транспортна система.

IX.6.2. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ

1. Резултатите показват необходимостта от 7 допълнителни влака във вечерния пиков период. Броят на влаковете за периода на сутрешния пик остава непроменен.
2. Многокритериалният модел е приложен за оценка на превози с метрополитен, автобус и автомобил по успоредни маршрути за избран участък от транспортната инфраструктура на София.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРОВЕДЕНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

1. Проведеното изследване за разработване на многокритериална система за избор на технологии за превоз в транспортна мрежа се характеризира със следното:

2. На основата на проучване на значителен брой научни изследвания, които съответстват на съвременните достижения, са установени актуалните тенденции и теоретични постановки, като е синтезиран и обобщен опитът в изследваната научна област.

3. След проучване и анализиране на състоянието на проблема са определени основните направления за разработване интегриран научен подход за създаване на многокритериална система за избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, и на интегриран научен подход за разработване на многокритериална класификация на превозите.

4. Задачите, поставени за постигането на поставената цел на дисертационния труд са решени изцяло, като са проведени самостоятелни взаимно-свързани изследвания и е приложен системния подход. Създадена е многокритериална система за оценка и избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, съдържаща комплексна методология и интегриран научен подход, която отчита детерминирани и недетерминирани транспортни

потоци.

5. При провеждане на изследването са използвани следните математически методи: теория на размитите множества; линейно оптимизиране; теория за избор на решение; методи на многокритериалния анализ - метод на аналитичната йерархия АНР, размит метод на аналитичната йерархия с прилагане на теорията на размитите множества FАНР; метод PROMETHEE, метод DEAMATEL; метод на Дървото на решенията; теория на графите; многомерен статистически анализ, факторен анализ; клъстерен анализ.

6. За постигане на резултатите са използвани следните програмни продукти: STATGRAPHICS CENTURION XVI- софтуер за статистически изследвания; SPSS - софтуер за статистически изследвания; КСИ "ОПТИМА-ЛП" за линейна оптимизация; SUPER DECISION - софтуер за многокритериален анализ по метода АНР; VISUAL PROMETEE - софтуер за многокритериален анализ по метода PROMETHEE; DECISION TOOLS SUITE SOFTWARE - софтуер за моделиране по метода на Дървото на решенията; ARENA - софтуер за симулационно моделиране; MATLAB - софтуер за математическо моделиране; MS EXCEL.

7. При провеждане на изследванията са използвани данни за графика за движение на влаковете и плана за композиране за периода 2010 - 2014 г.; статистически данни от преброявания на пътниците във влаковете, и от продадените билети и абонаментни карти; данни за изразходваната електроенергия от локомотивите на влаковете; данни за бюджета на влаковете; данни от Националния статистически институт; данни от Евростат за железопътния транспорт за десетгодишен период от 2005 до 2014 г.; тарифи, прилагани в транспорта; анализи, стратегии и План за оздравяване и развитие на Групата на "Холдинг БДЖ" ЕАД за периода 2015 - 2022 г.; данни от Метрополитен ЕАД; технически параметри и характеристики на превозни средства; данни от GPRS система и др.

II. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

II.1. НАУЧНИ ПРИНОСИ

1. Разработени са оригинална комплексна методология за решаване на проблем, свързан с многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа, и оригинална комплексна методология за многокритериална класификация на превозите, съдържащи теоретични обобщения, гл. II, т. II.2 и т. II.3.

2. Разработена е оригинална комплексна методика за определяне на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, съдържаща следните основни части: методика за разделяне на профила на маршрута на участъци; оптимизационен модел, основан на теорията на графите, за определяне енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, гл. VI, т. VI.2.2 и VI.2.4.

II.2. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Въведени са показатели за класификация на железопътните гари, показатели за класификация на метромрежи, показатели за класификация на пътнически жп превози, т. III.2.1.1; т. III.2.2.2., т. III.3.2.

2. На основата на разработената в Глава II комплексна методология са създадени нови класификации в научното направление. Разработени са методики за класификация на железопътните гари; за класификация на метросистеми; за класификация на железопътни пътнически превози, гл. III, (III.2.1, III.2.2, III.3.1).

3. Въведени са нови показатели за оценка на маршрутизацията на метромрежите – степен на маршрутизация (3.21), свързаност на маршрутите (3.22), средна дължина на маршрутната връзка (3.24), плътност на маршрутите (3.27), интензивност на маршрутите, (3.28), гл. III.

4. Въведени са комплексни критерии за многокритериален избор на технология за превоз в състояние на определеност и в състояние на неопределеност на изследвана система, (2.47), (2.61), гл. II.

5. На основата на разработената комплексна методология в Глава II, са разработени:

о Многокритериален модел за оптимизиране на схемата за превоз в пътнически жп

транспорт в състояние на определеност и състояние на неопределеност при отчитане на изменението на пътничкопотока, гл.IV, т.IV.4.

о Многокритериален модел за оптимизиране схемата за превоз на влакове, превозващи автомобили, гл.V, т.V.4.

о Многокритериален модел за избор на оптимална технология за екологичен превоз на лични автомобили, гл.V, т.V.2.

о Многокритериален модел за избор на маршрут на товарен автомобил, гл.VII;

о Многокритериален модел за оценка на ефективността на интермодални товарни превози, гл.VIII.

о Многокритериален модел за оценка на технологии за превоз с градски транспорт, гл.VIII.

6. Разработен е размит линеен оптимизационен модел за оптимизиране на схемата за движение на пътническите влакове с отчитане на неопределеността на процесите, т.IV.2,

7. Разработен е оптимизационно-симулационен модел за оптимизиране на схемата за движение на метровлакове с отчитане на неопределеността на процесите и прилагане на теорията на размитите множества, т.IX.2.

8. Усъвършенстван е моделът за оптимизиране на връзките на влаковете във възелните гари [74], като е отчетена неопределеността на процесите и е приложена теорията на размитите множества, т.IV.3.

9. Разработена е комплексна методика за оптимизиране на схемата за движение на пътническите влакове, като са приложени разработените интегрирани научни подходи за многокритериален избор на технологии за превоз в транспортна мрежа и за многокритериална класификация на превозите, гл.IV.

10. Въведени са критерии и под-критерии за оценка на: Схеми за превоз в пътническия жп транспорт, т.IV.4.2; Схеми за превоз на лични автомобили с влакове, т.V.4.3; Превоз на пътнически автомобили, т.V.2.1; Избор на маршрут на превозно средство в пътната мрежа, т.VII.2; Интермодални превози, т.VIII.2; Превози с градски пътнически транспорт, т.IX.4.1.

11. Определени са тежестите на въведените критерии, IV.5.3; V.3; V.4.4; VII.4.2; VIII.3.1, IX.5.1. Установени са взаимовръзките между критериите за интермодален превоз, т. VIII.3.1.

12. Разработена е методика и критерии за разделяне на маршрут на участъци, за които да се приложи оценка на енергийната ефективност на товарен автомобил, т.VI.2.2.

13. Въведени са оценъчен (6.09) и коригиращ коефициент (6.10) за разделяне на маршрута на движение на товарния автомобил на рационален брой участъци, за които да се приложи оценка на енергийната ефективност.

14. Разработени са мрежови модели за верификация на оптимизационния модел за определяне на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, т.VI.2.5.

15. Разработена е концепция за практическо реализиране на оптимизационния модел за енергийна ефективност на превозно средство чрез GPRS система, т.VI.8.

II.3. ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработената комплексна методология за многокритериална оптимизация за избор на транспортна технология за превоз е приложена при различни видове транспорт – железопътен, автомобилен, интермодален и градски.

2. Разработената комплексна методология за многокритериална класификация е приложена за разработване на класификации в релсовия транспорт. Установено е нивото на развитие на релсовите превози на Европейско ниво. Установени са пътническите гари за нива на обслужване с различни категории пътнически влакове.

3. Разработени са следните класификации:

о Класификация на 98 жп гари за пътнически превози по 17 показателя, редуцирани до 4 броя главни компоненти. Жп гари за пътнически превози са класифицирани в 6 групи в зависимост от категориите на пътническите влакове, т.III.2.1.4.

о Класификация на пътническите жп превози в 28 Европейски държави по 4 групи

основни критерии и 17 под-критерия. Пътническият железопътен транспорт в страните от Европейския съюз е класифициран в 5 групи, т.ІІІ.3.4.

о Класификация на метромрежите на 22 Европейски столици по мрежовия подход с прилагане на 10 инфраструктурни показателя, определени по Теория на графите. Метромрежите са класифицирани в три групи - метромрежи с една линия, прости метромрежи и сложни метромрежи, т.ІІІ.2.2.4. Разработена е класификация на метромрежите на 22 Европейски столици по обобщения подход по 24 показателя, при който те се класифицират в четири групи, т.ІІІ.2.2.5.

4. Разработените многокритериален модел за оптимизиране на схемата за превоз в пътническия жп транспорт, линеен оптимизационен модел за оптимизиране на схемата за движение на пътническите влакове с отчитане на неопределеността на процесите са приложени за жп мрежата на България. Изследвано е влиянието на изменението на пътничекото върху избора на оптимална схема за превоз, гл.ІV.

5. Предложена е организация по оптималната схема за организация на превозите с жп транспорт с 3 категории влакове - Директен влак, Ускорен бърз влак и Бърз влак. Директните влакове са със състав от 3 вагона, а другите категории бързи влакове с 4 вагона, т.ІV.5.1.2.

6. Предложени са директни бързи влакове с намален брой спирания за направленията София-Пловдив-Бургас и София-Горна Оряховица-Варна, т.ІV.5.1.2.

7. Усъвършенстваният модел за оптимизиране на връзките на влаковете във възелните гари е експериментиран за оптимизиране на връзките на бързите влакове в Централна гара София. В резултат на оптимизацията броят на връзките между бързите влакове в Централна гара София се увеличава с 34%, а средната продължителност на връзката се намалява с 26% в сравнение със съществуващата организация, т.ІV.5.2.

8. Многокритериалният модел за оптимизиране схемата за превоз на влакове, превозващи автомобили е приложен за железопътни превози по маршрут София – Пловдив – Бургас и е предложена е организация на превозите, т.V.4.4.

9. Разработен е подход за представяне на графова структура в матричен вид и е разработена програма за оптимизация на ефективната горивна икономичност при движение на транспортно средство в среда MATLAB, т.VI.7, Приложение към гл. VI.

10. За допълнителните мрежови модели за оптимизиране на енергийната ефективност на товарен автомобил са разработени подходи за решаване в среда EXCEL, т.VI.2.5; Приложение към гл. VI.

11. Разработените оптимизационен модел за определяне на енергийната ефективност при движение на товарен автомобил, многокритериален модел за избор на маршрут на товарен автомобил, както и методиката, и критериите за разделяне на маршрут на участъци са приложени за изследване на маршрути в пътната мрежа на Република България, т.VI.3; VI.4; VI.5.

12. Създаденият многокритериален модел за оценка на ефективността на интермодален транспорт е експериментирана за оценка на ефективността на интермодален непридружен транспорт (контейнерни превози) и придружен интермодален транспорт по технологията Ro-La. Изследвани са контейнерни превози София – Варна и Ro-La превози Драгоман – Свиленград, т.VIII.3.

13. Изследвано е влиянието на винетната такса (по период от време и брой пътувания) върху избора на технология за превоз, т.VIII.3.3; VIII.3.4.

14. Предложена е организация на превозите в Софийския метрополитен за сутрешен и следобеден върхов период, т. IX.3.

15. Разработеният многокритериален модел за оценка на технологии за превоз с градски транспорт е приложен за оценка на превози с метрополитен, автобус и автомобил по успоредни маршрути за избран участък от транспортната инфраструктура на София, т.IX.5.

ПУБЛИКАЦИИ

IMPACT FACTOR Thomson Reuters Web of Science

- П1. **Stoilova, S.,** L. Kunchev. Methodology for optimal transportation using a three-phase model C. R. Acad. Bulg. Sci., Volume 69, Issue No7, pp. 903-908, 2016, ISSN 1310–1331, **IF: 0.284**, Thomson Reuters Web of Science.
- П2. **Stoilova, S.,** L. Kunchev. Application of the graph theory, AHP method and Cost Benefits Analysis for route selection of a road train. J Balk Tribol Assoc, 22(2), pp.1041- 1056, 2016, ISSN 1310-4772, **IF: 0.737**, Thomson Reuters Web of Science.
- П3. **Stoilova, S.,** Stoev, V. Methodology of transport scheme selection for metro trains using a combined simulation-optimization model, Promet - Traffic – Traffico, Volume 29, Issue 1, pp.23-33 2017, ISSN: 0353-5320, EISSN: 1858-4069, **IF: 0.43**, Thomson Reuters Web of Science.
- П4. **Stoilova, S.,** L. Kunchev Study of the efficiency of passengers' motorcar carriage by using multicriteria methods. Journal of Scientific & Industrial Research, **IF: 0.557**, Thomson Reuters Web of Science, 2018, ISSN: 0975-1084 (Online); 0022-4456 (Print), Приета за печат.
- П5. **Stoilova, S.** Study of railway passenger transport in the European Union. Technical Gazette, Vol.25, No.2, pp.587-595, 2018. **IF: 0.723**, Thomson Reuters Web of Science.

IMPACT RANK Scopus

- П6. **Stoilova, S.,** Stoev, V. An application of the graph theory which examines the metro networks, Transport Problems, International scientific journal. ISSN 1896-0596 Poland, vol.10, Issue 2, pp.35-48, 2015. (SCOPUS). Print: ISSN 1896-0596; Online edition: ISSN 2300-861X. **SJR: 0.28**.
- П7. **Stoilova, S.,** Nikolova, R. Classifying railway passenger stations for use transport planning. Transport Problems, International scientific journal, vol. 11, issue 2, pp.145-155.2015, ISSN 1896-0596 Poland. (SCOPUS). Print: ISSN 1896-0596; Online edition: ISSN 2300-861X. **SJR: 0.28**.
- П8. **Stoilova, S.,** Nikolova, R. Study of the scheme for transportation of intercity trains in the conditions of stochastic variation of passenger flows. Proceeding of International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), March, pp. 2657- 2662, 2016, IEEE Xplore Digital Library, (SCOPUS).
- П9. **Stoilova, S.,** Nikolova, R. A complex methodology for the study of intercity rail transport. Proceeding of 15th International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25.-27.05.2016. Jelgava, Latvia, pp.586-598. ISSN 1691-5976, (SCOPUS, Thomson Reuters Web of Science), **SJR 0.23**.
- П10. **Stoilova, S.** Study of the efficiency of motorail trains as a factor in transport development. SGEM2016, Bk 2: Political Sciences, Law, Finance, Economics and Tourism Conference Proceedings, Vol V, pp. 627-634, 2016, DOI: 10.5593/SGEMSOCIAL2016/B25/S07.082, SCOPUS, Thomson Reuters Web of Science.
- П11. **Stoilova, S.,** L.Kunchev. Study of criteria for evaluation of transportation with intermodal transport. Proceedings of 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, pp.349-357, May24-26, 2017, Jelgava, Latvia; DOI:10.22616/ERDev2017.16.N070, ISSN 1691-5976, (SCOPUS), Thomson Reuters Web of Science), **SJR 0.23**.
- П12. **Stoilova, S.** Application of fuzzy linear programming method to examine routing of passenger trains. Proceedings of 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, pp.342-348, May24-26, 2017, Jelgava, Latvia. DOI:10.22616/ERDev2017.16.N069, ISSN 1691-5976,(SCOPUS), Thomson Reuters Web of Science), **SJR 0.23**.

- П13. **Stoilova, S.** Study of the connection between intercity trains using fuzzy linear programming method. Proceedings of 21st International Scientific Conference Transport Means 2017, Juodkrante, Lithuania, SCOPUS, **SJR 0.12**.
- П14. **Stoilova, S., Nikolova, R.** An application of AHP method which examines the transport plan of passenger trains. Application to Bulgarian railway network. Transport Problems, International scientific journal. ISSN 1896-0596 Poland, vol.13, Issue 1, pp.37-48, 2018. (SCOPUS). Print: ISSN 1896-0596; Online edition: ISSN 2300-861X, **SJR: 0.21**.

Публикации в списания и сборници от конференции

- П15. **Stoilova S, L. Kunchev, K. Nedelchev.** Investigation of technical and operational indices for the movement of a road train. International virtual journal "Machines, Technologies, Materials", issue 1, pp..37-46, 2012, <http://mech-ing.com/journal/1-2012.html>, ISSN:1313-0226.
- П16. **Stoilova S.** Network models for traffic management of vehicles. International virtual journal "Machines, Technologies, Materials", issue 1, pp.47-56, 2012, ISSN:1313-0226.
- П17. **Стоилова С., Л. Кунчев.** Моделиране на движението на автоvlak чрез теория на графите, Научни трудове на Русенския Университет-2011, том 50, серия 4, стр.122-127,2011, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp11/4/4-20.pdf>.
- П18. **Stoilova S, L. Kunchev.** Modeling the movement of a road train using dynamic optimization. International virtual journal "Machines, Technologies, Materials", issue 1, pp..75-78, 2012, ISSN: 1313-0226.
- П19. **Stoilova S., K. Nedelchev.** An automated optimization using graph theory. International virtual journal "Machines, Technologies, Materials", issue 7, pp.17-22, 2012, ISSN: 1313-0226.
- П20. **Stoilova S., L. Kunchev.** Application of the mobile satellite navigation system to study the movement of the road train. International virtual journal "Machines, Technologies, Materials", issue 7, pp.23-30, 2012, ISSN: 1313-0226.
- П21. **Stoilova, S., L. Kunchev.** Modeling of the fuel consumption of road train using GPRS system. International conference on automobile and vehicle technologies AVTHEC'13, p.111-125, Istanbul, 2013.
- П22. **Stoilova, S., L. Kunchev.** Investigation of the effectiveness of transportation by motorail trains. Septième édition du Colloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique - COFRET'14, Paris, pp.888-901, 2014.
- П23. **Stoilova, S.** An application of the method of decision tree for selecting a strategy for organization of passenger trains on the railway line. International Conference International Scientific Conference Horizons of railway transport 2014, Zilina, Slovak Republic, pp.229-239, 2014.
- П24. **Stoilova, S.,** Risk analysis of delay of passenger trains in the rail network. XVI International Scientific-expert Conference on Railways RAILCON'14, Serbia, Nis, pp.267-270, 2014.
- П25. **Stoilova, S., L. Kunchev.** Application of the multicriteria decision-making methodology for route selection of a road train. 3RD International congress science and management of Automotive and Transportation Engineering, 23rd - 25th of October, 2014 Craiova, Romania, pp.213-220, 2014.
- П26. **Stoilova, S., R. Nikolova.** Investigation the scheme of movement of the passenger trains with combination of theory for decision and linear optimization method. Proceedings of Scientific conference On Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies, Technical University of Sofia September 16-19, 2013, Sozopol, Bulgaria, Bultrans-2014, pp.235-242, 2014.
- П27. **Stoilova, S., Nikolova, R.** Modeling and analysis of fast and express passenger railway transport using quantitative and qualitative indicators, Proceedings of Scientific conference On aeronautics, automotive and Railway engineering and Technologies, September 16-18, 2015, Sozopol, Bulgaria, Technical University of Sofia, Bultrans-2015, pp.190-197, 2015.

- II28. **Stoilova, S. D, Nikolova, A. R.** Study of the routes of intercity trains by using multi-criteria analysis, International Scientific conference "Horizons of Railway Transport, University of Jilina, pp. 247-263.2015.

ANOTATION

ELABORATION OF MULTI-CRITERIA SYSTEM FOR EVALUATION AND SELECTION OF TRANSPORT TECHNOLOGY IN TRANSPORT NETWORK

Assoc. Prof. PhD Svetla Stoilova

In the dissertation has been developed an original complex methodology based on an integrated scientific approach for solving a problem, related to multi-criteria selection of technologies for transportation in a transport network, and an original complex methodology for multi-criteria classification of transportation containing theoretical summaries. The complex methodology for multi-criteria selection of transportation technologies consists of the following stages: choice of alternatives for transportation; optimization of transport technology parameters taking into account of uncertainty of processes and application of fuzzy set theory; introducing additional quantitative and qualitative criteria for assessing alternatives; determining the weights of the additional criteria by using the method of Analytical hierarchy process AHP or its fuzzy version by applying the theory of fuzzy sets FAHP; prioritization of alternatives by multi-criteria method PROMETHEE; choosing an optimal alternative to integrated criteria for multi-criteria selection of transport technologies in a state of certainty and uncertainty. The complex optimization criterion, in the defined system in the state of certainty is the minimum of the ratio of the normalized direct operating costs determined by the fuzzy optimization model and the normalized outranking flow of the PROMETHEE method. In a state of uncertainty, the integrated approach has been expanded with the Decision tree method and a complex assessment criterion has been introduced - a minimum of the ratio of the normalized expected value of direct operating costs to the normalized expected value of net a outranking flows.

A fuzzy linear optimization model has been developed to optimize the passenger train movement scheme, taking into account of the uncertainty of the processes; fuzzy linear optimization model to optimize train connections at the nodes; fuzzy linear optimization model to optimize the movement of metro trains in metro network. An original complex methodology for determining the energy efficiency in motion of a truck was developed, containing the following main stages: methodology for separation the route profile by sections; an optimization model based on Graph theory to determine the energy efficiency of a truck.

The complex methodology has been applied to develop a multi-criteria model for the optimization of the transport scheme in passenger rail transport; multi-criteria model for intermodal passenger transport, multi-criteria model for route selection in the transport network; multi-criteria model for assessing the efficiency of intermodal freight transport, multi-criteria model for the assessment of technologies for public transport.

A complex methodology for multi-criteria classification of transports in a transport network has been developed, which contains grouping or ranking of surveyed objects on the basis of a set of factors and applying the methods of multidimensional statistical analysis. The developed complex methodology for multi-criteria optimization for the selection of transportation technology for transport is applied in different modes of transport - rail, road, intermodal and urban. The developed complex methodology for multi-criteria classification is applied for the development of classifications in rail transport. For countries of the European Union have been introduced criteria and have been elaborated following classification: classification of railway passenger transport; classification of metro systems in the capitals of the European countries. The level of rail transport development at Europe has been established. In the study have been elaborated also a classification of railway stations for passenger transport in the national railway network. For passenger stations in the national railway network have been established the service levels with different categories of passenger trains taking into account of classification. The classification has been applied in determining the variant schemes for railway passenger transportation.