



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**Факултет по транспорта
Катедра „ Железопътна Техника“**

Маг. инж. Радина Асенова Николова

**ИЗСЛЕДВАНЕ И МОДЕЛИРАНЕ НА БЪРЗИТЕ
ПЪТНИЧЕСКИ ПРЕВОЗИ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА МРЕЖА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление:

5.5 Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност:

Управление и експлоатация на железопътния транспорт

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Светла Димитрова Стоилова

СОФИЯ, 2017г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Железопътна техника“ към Факултет на транспорта на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 02.05.2017г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 19.09.2017г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-214 от 25.05.2017г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. доц.д-р инж. Светла Стоилова - председател
2. доц.д-р инж. Димитър Дичев - научен секретар
3. проф.д-р инж. Кирил Карагъзов
4. проф.д-р инж. Тошо Качаунов
5. доц.д-р инж. Мирена Тодорова

Рецензенти:

1. проф.д-р инж. Кирил Карагъзов
2. доц.д-р. инж. Димитър Дичев

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

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Железопътна техника“ на Факултет по транспорта. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Радиана Асенова Николова

Заглавие: Изследване и моделиране на бързите пътнически превози в железопътната мрежа

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Железопътните пътнически превози в Република България предлагат ниска участкова скорост и транспортна задоволеност, недостатъчен подвижен състав и качество на обслужване. Развитието на железопътните пътнически превози в условията на конкурентна среда налага да се предложат ефективни технологични решения, които да удовлетворяват както очакванията на пътниците за бърз, качествен, безопасен и удобен транспорт, така и възможностите на превозвача. За това е необходимо да се изследват пътничкопотоците, да се изследват показателите на организацията на пътническите железопътни превози, да се оптимизира технологията на превоз, да се моделира и оптимизира взаимодействието между категориите пътнически влакове във възловите гари. Това определя актуалността на изследването, свързано с организацията на превозите.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Въз основа на направения анализ на организацията на превозите на бързите влакове в железопътната мрежа и на научните изследвания, свързани с организацията на превозите е формирана целта на дисертационния труд, която е:

Да се разработи комплексна методика за изследване и моделиране на превозите на бързите влакове в железопътната мрежа.

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

1. Изследване на пътничкопотоците и определяне на вариантни схеми за превоз;
2. Оптимизация на схемата на превоз на бързите влакове в жп мрежа по критерий минимум преки експлоатационни разходи;
3. Разработване на многокритериален модел за избор на оптимална схема за превоз;
4. Разработване на методика за оптимизиране на взаимодействието на бързите влакове във възелните гари.

Обект на изследването е железопътната мрежа на Република България.

Научна новост

Разработена е комплексна методика за моделиране на бързите превози в жп мрежа, съдържаща линеен оптимизационен модел за избор на вариантна схема на влаково обслужване и определяне на броя и назначенията на категориите бързи влакове по критерий минимум преки експлоатационни разходи; дефинирани са показатели за оценка на вариантите схеми; определени са тежестите на показателите по метода на аналитичната йерархия (АНР); оптималната схема за превоз е определена по минималното отношение на разходи ползи, като разходите са определени по линейния оптимизационен модел, а ползите са определени по метода на многокритериалния анализ. Усъвършенствана е методиката за оптимизиране на взаимодействието на бързите влакове във възелните гари, като е отчетена средната продължителност на закъснението на влаковете в крайна гара. На базата на разработените модели е предложена организация на движението на бързите влакове в жп мрежа.

Практическа приложимост

Проведеното изследване се отличава със значителна практическа полезност и възможност за внедряване на резултатите при разработване на графика за движение на влаковете. Внедряването на предложената методика би допринесло както за удовлетворяване на потребителите на жп транспортни услуги, така и за намаляване на експлоатационните разходи при организацията на движението на бързите влакове и усъвършенстване на взаимодействието на бързите влакове в Централна гара София.

Апробация

Резултатите от изследването са апробирани за жп мрежа на Република България. Комплексната методика за моделиране на бързите пътнически превози в жп мрежа е експериментирана и при разработване на научно-изследователски проект в помощ на докторанти № 152ПД0040-04 при НИС – ТУ София, 2015/2016 г. „Моделиране и изследване на бързи и експресни пътнически превози по основни направления в железопътната мрежа“.

Публикации

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научни статии, от които 2 са самостоятелни. Резултатите от дисертационния труд са публикувани в сборници от научно-технически конференции с международно участие ЕКО-Варна на Технически Университет-Варна и в сборници от научни конференции с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии Бултранс на Технически Университет – София.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **139** страници, като включва увод, *пет* глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **152** литературни източници, като **114** са на латиница и **38** на кирилица. Работата включва общо **83** фигури и **51** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА И НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ОБЛАСТТА НА ОРГАНИЗАЦИЯТА НА БЪРЗИТЕ ПЪТНИЧЕСКИ ПРЕВОЗИ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА МРЕЖА

I.1. Анализ на състоянието на проблема и на използваните у нас методи за разработване на организация на пътническите железопътни превози

I.1.1. Анализ на организацията на превозите

I.1.2. Анализ на използваните у нас методи за изследване и моделиране на пътническите железопътни превози

Методите за изследване на пътническите превози и за разработване на организация на движението на влаковете в жп мрежа на Република България, прилагани от БДЖ „Пътнически превози“ се основават на следното:

- Анализ на пътникопотоците от гара до гара и на заминалите пътници от гара на база информацията от продадените билети и абонаментни карти от жп гари;
- Анализ на населеността на влаковете на база преброяванията на пътниците във влаковете, извършвани три пъти годишно в жп мрежа;
- Определяне на преките експлоатационни разходи на база бюджет на влака и необходимия брой експлоатационен персонал, пряко зает с движението на влака от началната гара до гарата на пристигане;
- Анализ на изпълнението на ГДВ и причините за закъсненията на влаковете, чрез изготвяне на ежедневни справки;
- Определяне на маршрутите и на броя на влаковете съобразно наличния подвижен състав и извършващите се ремонти по жп инфраструктура;
- Анализ на конкурентните видове транспорт;
- Синхронизиране на връзките на влаковете във възелните гари и др.

Научните изследвания, свързани с организацията на пътническите превози в Република България са насочени в следните основни направления:

- Оптимизиране на схемата на движение на бързите влакове. В [13] е разработен нелинеен оптимизационен модел, при който е приложен метода на текущите равнини и критерий минимум на експлоатационните разходи за движение на влаковете. В [24, 25, 27] е разработен линеен оптимизационен модел по критерий минимум експлоатационни разходи за осъществяване на превоз, в [8,25] е изложен модел, основан на метода на динамичното оптимизиране за определяне на състава на бързите влакове.

- Оптимизация на връзките на влаковете във възелните гари. В [27] е разработена комплексна методика за оптимизиране на превозите за различните категории междуградски влакове, при условията на ритмична схема и синхронизирани връзки във възелните гари. В [19,23,127] моделът е приложен и за взаимодействие на релсовия транспорт за градски условия.
- Изследване на населеността на влаковете. В [3] е експериментирана методика, при която за условията на крайградски превози е определен минимално необходимия брой пътници за покриване на разходите по отделните направления и състави. Критерият на ефективност е приходите от пътническите превози да покриват инфраструктурните такси и разходите на превозвача.
- Изследване на критерии за избор на транспортна схема за превоз. В [10] са анализирани различни начини на транспортиране: личен автомобил, автобусен транспорт и железопътен транспорт по критериите време и цена. По критерия време е отчетено и пътуването с градски транспорт. В [31] е изследван факторът времепътуване, като основен показател при организацията на пътническите превози.
- Обвързка на подвижния състав за пътнически превози. В [32] е разработена обща методика за обвързка на пътническите композиции, в която е приложен методът на GERT мрежи, алгоритъма на дефекта и са минимизирани вагоночасовете престой. В [34] са изследвани проблемите при осигуряване на пътническите влакове с подвижен състав.
- Прогнозиране на пътническите потоци. В [27] е разработен гравитационен модел, в който са отчетени две групи фактори: транспортен потенциал на пунктовете и транспортно съпротивление. В [16] е разработен гравитационен модел, като са сравнени различни видове функции на възпиране. Избора на вид транспорт е моделиран чрез двучленен логит модел. В [26] е приложен клъстерния подход и маркетингово изследване чрез метода на двустепенната гнезова извадка за прогнозиране на пътническите потоци при оценка въвеждането в експлоатация на жп спирка Вардар. В [130] „полезността“ на вида транспорт е определена по две групи фактори: цената и качеството на услугата, като на базата на определените параметри на обобщената цена на транспорта се моделира промяната в разпределението на пътниците по железопътния транспорт чрез Logit модел. В [15] авторите са приложили логит модел за множествен избор за определяне и прогнозиране на пазарните дялове на видовете пътнически сухоземен транспорт.
- Изследване на снабдяването на пътниците с билети в гарите. В [20] са дефинирани фактори, влияещи върху определянето на броя на билетните каси в жп гари; установени са корелационни зависимости между броя на билетните каси и изследваните фактори.
- Логистично осигуряване на пътническите превози. В [21] е разработена концепция за логистика в пътническите превози, като са дефинирани основните функции, елементи на логистичната система.
- Изследване на организацията на превозите при особени условия (прекъсване на движението). В [22] е разработена методика за логистично осигуряване на железопътните пътнически превози при прекъсване на движението на влаковете по жп линия, участък или междугарие, в резултат на причини от различен характер.
- Изследване на закъсненията на влаковете. За условията на Българската железопътна мрежа в [76] са изследвани закъсненията на пътническите и товарните влакове общо, породени по причини от инфраструктура, превозвач или външни влияния, като е установено Гама разпределение за продължителността на закъснението.
- Изследване на инфраструктурните такси. В [33,131] са изследвани структурата и принципите на формиране на таксите за инфраструктура в новите страни членки на ЕС - България, Хърватия, Чехия, Унгария, Полша, Румъния, Словакия и Словения през 2013 г. методически основи на система за резервация на места.
- Разработване на методически основи на система за резервация на места. В [126] на основата на анализ на действащи системи за резервация, за условията на националната жп мрежа е разработен алгоритъм на система за резервация на места. В [17] е представен подход и методика за моделиране на резервацията на места в железопътния транспорт. Определени са основните параметри на системата: период за резервация и квоти по основни железопътни гари.

I.1.3. Изводи

1. Необходимо е да се разработи комплексна методика за избор на оптимална схема за превоз на бързите влакове, която да отчита както интересите на превозвача за предоставяне на пътнически услуги по критерий минимум експлоатационни разходи, така и желанията на пътниците за бърз, качествен и надежден пътнически жп транспорт.
2. Важно значение за удовлетворяване на клиентите при превоз по различни направления е синхронизиране на разписанията на бързите влакове във взаимодействащите пунктове. С цел да се сведе до минимум нарушаването на връзките между влаковете поради закъснения на влаковете в крайна гара е необходимо при определяне на продължителността на връзките между влаковете да се отчете средна продължителност на закъснението.
3. С цел задоволяване на транспортните потребности на пътниците от бърз и директен превоз е необходимо да се изследва възможността от ускоряване на пътуванията, чрез въвеждане на директни маршрути с намален брой спирания.
4. За да се увеличи гъвкавостта на ГДВ при изменение на пътническия поток е необходимо да се изследва влиянието на изменения в големината на пътническия поток върху схемата за превоз на бързите влакове.

I.2. Анализ на научните изследвания в областта на организацията на пътническите железопътни превози

Научните изследвания, свързани с моделиране и изследване на организацията на пътническите железопътни превози са насочени в главно в следните основни направления:

- Изследване на организация на пътническия поток и оптимизация на маршрутизацията на превозите;
- Оптимизиране на графика за движение на влаковете;
- Изследване на закъсненията на влаковете;
- Взаимодействие на влаковете във възелните гари.

I.2.1. Изследване на организация на пътническия поток и оптимизация на маршрутизацията на превозите

I.2.2. Оптимизиране на графика за движение на влаковете

I.2.3. Изследване на закъсненията на влаковете

I.2.4. Взаимодействие на влаковете във възелните гари

I.2.5. Анализ и изводи

Обзорът на посочените литературни източници позволява да се формулират следните изводи:

1. Основните направления в научните изследвания, свързани с пътническия жп превоз могат да се обобщят в следните групи: оптимизиране на времепътуването, чрез намаляване на броя на спирания в гари с по-ниско търсене; минимизиране на среднопретеглени закъснения на влаковете; минимизиране на експлоатационните разходи; синхронизиране на влаковете във възелните гари; намаляване на трансферното време на пътника и др. Основните математически методи, които са използвани в научните изследвания, свързани с организацията на превозите са: линейно оптимизиране, динамично оптимизиране, симулационно моделиране, евристични методи, стохастични модели, многопараметрично оптимизиране, многокритериален анализ.
2. Проучените литературни източници показват, че експлоатационните разходи за движението на пътническите влакове са основен критерий при разработване на превозите, [134, 135, 137, 148]. Социално-икономическите фактори също оказват влияние върху избора на транспорт. Основните изисквания на пътниците са по отношение на качеството на превозите, изразено с бърз и надежден транспорт,
3. Основни фактори при избор на вид транспорт са разходи, скорост, сигурност, навременност и транспортен капацитет, [49,71].
4. Въпросът за избор на схема на транспортиране с различни категории пътнически влакове, чрез прилагане на методите на многокритериалния анализ, с отчитане както на експлоатационните разходи, така и на фактори, насочени към задоволяване на изискванията на пътниците не е достатъчно изследван.

5. Въпросът за влиянието на вероятностното изменение на пътничепотока върху избора на оптимална схема за превоз на пътническите влакове не е достатъчно изследван. Изследват се предимно тенденциите в изменението на пътничепотоците, чрез прилагането на различни методи за прогнозиране, без да се отчита влиянието върху схемата за превоз.
6. Изследването на закъсненията на влаковете и определянето на средната продължителност на закъснението има важно значение при оптимизиране на връзките на влаковете във възелните гари, [28, 47, 76, 102, 147].
7. Синхронизирането на взаимодействието на бързите влакове е важно от една страна за намаляването на продължителността на придвижване на пътниците между началния и крайния пункт на пътуване, а от друга за увеличаване на ефективността на транспортната мрежа. Разработеният в [19,23,27,127] линеен оптимизационен модел по критерий минимална продължителност за осъществяване на връзка е подходящ подход за синхронизиране на взаимодействието им. За да не се нарушават връзки поради закъснения на влаковете е необходимо е да се отчете и тяхната средна продължителност, и да се определи минималната и максималната продължителност на връзката между транспортните средства.

I.3. Цел и задачи на дисертационния труд

Въз основа на направения анализ на организацията на превозите на бързите влакове в железопътната мрежа и на научните изследвания, свързани с организацията на превозите е формирана целта на дисертационния труд, която е:

Да се да се разработи комплексна методика за изследване и моделиране на превозите на бързите влакове в железопътната мрежа.

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

1. Изследване на пътничепотоците и определяне на вариантни схеми за превоз;
2. Оптимизация на схемата на превоз на бързите влакове в жп мрежа по критерий минимум преки експлоатационни разходи;
3. Разработване на многокритериален модел за избор на оптимална схема за превоз;
4. Разработване на методика за оптимизиране на взаимодействието на бързите влакове във възелните гари.

Обект на изследването е железопътната мрежа на Република България.

ГЛАВА II. МОДЕЛИРАНЕ НА СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА БЪРЗИТЕ ВЛАКОВЕ

II.1. Основни положения

Целта на изследването е да се разработи методика за оптимизация на маршрутизацията на пътническите жп превози, и да се изследват варианти на маршрутизация на бързи пътнически превози по основни жп линии.

- Дефиниране на критерии за определяне на жп направления с преобладаващи директни пътувания на дълги разстояния;
- Изследване на пътничепотоците по основни направления в железопътната мрежа;
- Разработване на вариантни схеми на маршрутизация;
- Разработване на оптимизационен модел на превозите по критерий минимум преки експлоатационни разходи;
- Избор на оптимална схема за превоз по критерий минимум преки експлоатационни разходи.

II.2. Дефиниране на критерии за оценка на междуградските пътувания по жп линии

За да се анализират пътничепотоците са въведени основни и допълнителни критерии за оценка. Изследването се извършва в две фази. В първата фаза се определят основни критерии. Като такива са въведени коефициент на тежест и коефициент на директност на пътуванията. Във втората фаза се изследват допълнителни критерии, които се определят за маршрути с пътничепотоци с най-висок коефициент на директност.

Коефициентът на директност дава оценка на интензивността на заминалите пътници от дадена гара i от направление j , спрямо общият пътничепоток за направлението и се определя по формулата:

$$(2.02) \lambda_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=i+1}^n P_{ij}}, \text{ за всяко } i = 1, \dots, n; j > i; j = i+1, \dots, n,$$

където: P_{ij} е пътничкопотокът между гари i и j , бр.пътн./мес.; $\sum_{j=i+1}^n P_{ij}$ е общият пътничкопоток

заминаващ от гара i за изследваното направление, бр.пътн./мес.

По стойностите на коефициента на директност на пътуванията може да се оцени възможността за изследване на въвеждане на допълнителна категория влак – директен бърз влак с намалени спирания. В изследването е прието, че директен бърз влак може да се изследва в схемата на организация на превозите, ако е изпълнено следното условие:

$$(2.03) \lambda_{ij} \geq 0,25.$$

II.3. Оптимизационен модел на превозите по критерии експлоатационни разходи

II.3.1. Математическа формулировка

В първата фаза на процеса на определяне на оптималната организация на пътническите жп превози е необходимо да се разработят схеми за вариантни за организация по категории влакове, които да се сравняват по критерий минимални преки оперативни разходи за транспорт. В [13] задачата за оптимизиране на схемата за движение на пътническите влакове се свежда до минимизиране на функцията на общите разходи за превоз на пътници, в която се включват транспортните разходи за превоз на пътниците и разходите, с които се оценява времето за превозване на пътниците. Органичните условия на модела са: осигуряване на заетост на местата в пътническите влакове; осигуряване на честота на транспортните връзки на населените места; осигуряване на необходимите преки транспортни връзки. Дефинираният модел е от областта на линейното оптимизиране с нелинейна оптимизационна функция. Той е решен, чрез свеждане до линейна оптимизационна функция в изпъкнала дефиниционна област по метода на текущите равнини. При разработване на оптимизационния модел в [13] е въведен принцип на йерархичност на транспортните връзки, който дава възможност да се моделират пътническите превози, чрез отчитане на вида на населеното място като административен и обслужващ център. Въз основа на този принцип за транспортно обслужване е извършена категоризация на пътническите влакове. Въведени са 3 категории бързи влакове – експресни от най-висока категория, които спират само на окръжните градове; бързи пътнически влакове от 1-ва категория, които освен на окръжните градове спират и на средните по големина градове; бързи влакове от 2-ра категория, които спират освен на посочените по горе пунктове, но и на малките градове. Въведена е и категория обикновени крайградски и далечни пътнически влакове, които спират на всички населени места.

В настоящия дисертационен труд се разглежда обслужване с три категории бързи влакове, които за разлика от категориите дефинирани в [13] са определени по съществуващата организация на движение за категориите бърз и ускорен бърз влак, а за нововъведената категория директен бърз влак – в зависимост от изпълнението на ограничително условие (2.03), т.е. коефициента на директност.

В [13] оптимизацията на броя и на назначенията на пътническите влакове се извършва без да се задават предварително схеми на обслужване с влакове и състав на влаковете. В дисертационният труд е приет подход на предварително задаване на схеми на влаково обслужване, за които се прилага линеен оптимизационен модел за определяне на броя на влаковете за всяко зададено назначение влакове. Този подход позволява да се съпоставят подходящи конкурентни схеми, които в следващите етапи на разработването на дисертационния труд се изследват по дефинирани показатели и многокритериален анализ. Крайният оптимизационен критерий при моделиране на схемата за превоз на бързите влакове в железопътната мрежа в дисертационния

труд е минимумът на съотношението на нормализираните преки експлоатационни разходи към оценките на зададени показатели по метода на многокритериалния анализ АНР.

Прилагането на нелинеен оптимизационен модел в [13] позволява да се отчетат в оптимизационната функция разходите, с които се оценява времето за превозване на пътниците. Този теоретичен подход обаче усложнява решаването на задачата. В настоящия дисертационен труд е възприет подход на многокритериална оптимизация, при който определянето на броя и назначенията на влаковете се извършва на основата на линеен оптимизационен модел по критерий минимум преки експлоатационни разходи и прилагане на метода на многокритериалния анализ. Оценката времето за превозване на пътниците в настоящия дисертационен труд се извършва с показателя скорост в многокритериалния модел изложен в гл.III, като едновременно с това се отчитат и други дефинирани показатели.

В първата фаза на процеса на определяне на оптималната организация на пътническите 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.

Линейният оптимизационен модел се основава на постановките изложени в [25,27], като в оптимизационната функция се отчитат едновременно трите изследвани категории бързи влакове, органичителните условия се съставят за всяка категория бърз влак, и се отчита допълнително ограничение, свързано с пропускателната възможност на жп линията, обслужваща назначенията от различни категории влакове. В изследването за разлика от [25,27] се отчитат само част от преките експлоатационни разходи. Този подход е възприет, тъй като при крайният оптимизационен критерий в дисертационния труд, както бе посочено по-горе, се отчитат нормализирани разходи. В [25,27] транспортните разходи се отчитат като разходна ставка, лв./km. Начинът на определяне на преките експлоатационни разходи в настоящото изследване е посочен по-долу в т. II.3.1.1.

Оптимизационната функция е:

$$(2.04) \quad R_g = \sum_{i_1=1}^{I_1} r_{i_1}^{o,d,FT} \cdot l_{i_1} x_{i_1}^{FT} + \sum_{i_2=I_1+1}^{I_2} r_{i_2}^{o,d,AFT} \cdot l_{i_2} x_{i_2}^{AFT} + \sum_{i_3=I_2+1}^{I_3} r_{i_3}^{o,d,DFT} \cdot l_{i_3} x_{i_3}^{DFT}, \text{ лв} / \text{ден} \rightarrow \min$$

където: FT – бърз влак, AFT – ускорен бърз влак, DFT – директен бърз влак; $i_1 = 1, \dots, I_1$ са броят на назначенията на бързите влакове; $i_2 = I_1 + 1, \dots, I_2$ е броят на назначенията на ускорените бързи влакове; $i_3 = I_2 + 1, \dots, I_3$ е броят на назначенията на директните бързи влакове; $r_{i_1}^{o,d,FT}$, $r_{i_2}^{o,d,AFT}$, $r_{i_3}^{o,d,DFT}$ са преките експлоатационни разходи за влакове от назначения съответно i_1 , i_2 , i_3 , лв./km; l_{i_1} , l_{i_2} , l_{i_3} са дължините на маршрутите на влакове от назначения съответно i_1 , i_2 , i_3 , km; x_{i_1} , x_{i_2} , x_{i_3} са броят на влаковете от назначения съответно i_1 , i_2 , i_3 ; g е броят на вариантите схеми, $g = 1, \dots, G$.

II.3.1.1. Определяне на преките експлоатационни разходи за влак

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

$$(2.12) \quad r_i^{o,d} = r_i^m + r_i^{w,l} + r_i^{w,v} + r_i^f, \text{ лв./ден.}$$

където: r_i^m са разходите за движение на влак, лв./ден; $r_i^{w,l}$ са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за локомотивна бригада, лв./ден; $r_i^{w,v}$ са разходите за възнаграждения, социални осигуровки и добавки за изминати километри движение на влак за превозна бригада, лв./ден; r_i^f са разходите за инфраструктурни такси, лв./ден

II.3.1.2. Теоретично определяне на максималната пропускателна възможност на железопътната линия

Определянето на максималната пропускателна способност може стане аналитично или като се използва методът на имитационното моделиране.

$$(2.33) \quad N_m^{max} = N_m - \varphi \left(\frac{1+\varphi}{1+(\varphi \cdot \varepsilon)} \right), \text{ брой влакове/ден,}$$

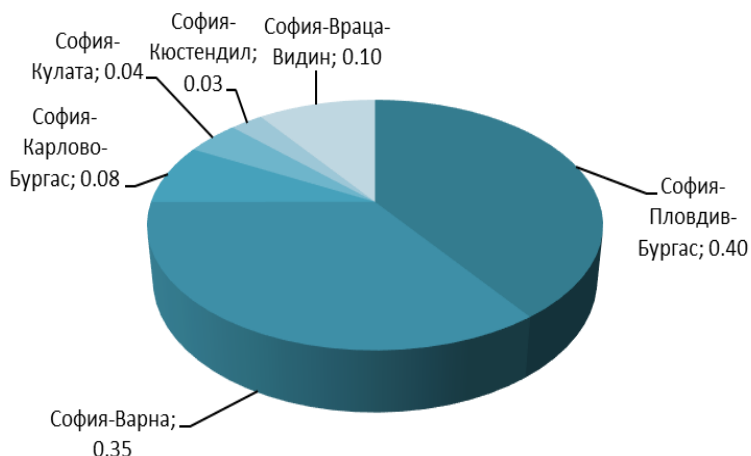
$$(2.34) \quad N_m = \frac{A}{T_{пер}} \cdot k \cdot \eta, \text{ брой влакове/ден,}$$

където: N_m - максималната пропускателна способност при успореден график, определена за дадена категория влакове, като обикновено това са товарните влакове; $T_{пер}$ - периодът на графика за движение на товарните влакове в ограничаващото междугарие при съответната схема на пропускане, при система за осигуряване на безопасността на движението и при съответните характеристики на влака, $\min$; k - броят чифта влакове, пропускани в един период на графика на движението $T_{пер}$; η - коефициентът за използване на максимална пропускателна способност на успоредния график; N_m^{max} - максималната пропускателна способност на неуспоредния, реален график за движение; φ - съотношението между пътнически и товарни влакове в дадената железопътна линия;

II.4. Приложение на оптимизационния модел на превозите по критерии експлоатационни разходи

II.4.1. Анализ на пътничкопотоците по основни железопътни направления

Представената методика е експериментирана за изследване на пътничкопотоците с бързи влакове със задължителна резервация (РБВ) и бързи влакове (БВ) по направления София – Пловдив - Бургас, София – Карлово - Бургас, София - Варна, София - Кулата и София - Кюстендил.



Фиг.2.03. Коефициент на тежест на заминали пътници по главните жп направления от централна гара София.

II.4.1.2. Анализ на превозите с автобусен транспорт по конкурентни на жп транспорт маршрути. Сравнение на показателите за оценка на превозите

Автобусния транспорт силно конкурира и превъзхожда железопътният транспорт по директност на превоза, честота на обслужване, времепътуване, удобство и комфорт на пътника по направление София – Пловдив - Бургас. Цената на билета на автобусния транспорт е по-висока отколкото на железопътният транспорт. Пътника предпочита масово автобусния транспорт поради директността, честотата, бързината и комфорта му при пътуване.

II.4.2. Провеждане на анкета с пътниците

На 05.04.2016 г, след разрешение от БДЖ „Пътнически превози“ ЕООД, бе проведено експериментално преброяване и анкета на пътниците във влакове 1621 София-Пловдив, заминаващ на 8.30 часа от Централна гара София и влак 1624 Пловдив-София, заминаващ на 13.15 часа от гара Пловдив.

Анкета съдържа следния въпрос: “Желаєте ли директен превоз без спиране на междинните гари от София до Пловдив и от Пловдив до София?”

Общо за двете посоки, броят на анкетираните пътници е 125 пътника, от тях са отговорили 110 пътника (88%) (да – 75; не - 20; неznam – 15).

Проведената анкета показва желание от страна на пътниците за наличието на директни влакове с намален брой спирания и повишена скорост.

II.4.3. Вариантни схеми за превоз. избор на оптимална вариантна схема по критерий минимум преки експлоатационни разходи

II.4.3.1. Вариантни схеми за превоз. Назначения на категориите влакове

Като се има предвид коефициента на тежест и коефициента на директност на пътникопотоците са дефинирани три категории бързи влакове. Като се има предвид т. II.4.1.1. условие (2.03) е изпълнено за следните релации: София – Пловдив (0,37); София – Стара Загора (0,31); София-Мездра (0,43); София-Плевен(0,34).

Въз основа на изложеното са определени спиранията на категорията директен влак.

Спиранията на директните влакове са както следва:

- **Направление София – Пловдив-Бургас**

Директен влак

Направлението *София-Пловдив* е директно.

Направлението *София-Бургас*-влака спира на Пловдив и Стара Загора.

- **Направление София – Горна Оряховица-Варна**

Директен влак

Направление *София-Варна*- спирания на Мездра, Плевен и Горна Оряховица.

В таб.2.07. са показани изследваните назначения и категории влакове.

Таб.2.07. Назначения и категория на влаковете

Назначение
София – Пловдив (Директен влак)
София - Бургас (Директен влак)
София - Варна (Директен влак)
София - Пловдив (Ускорен бърз влак)
София - Бургас (Ускорен бърз влак)
София - Бургас -3 жп линия (Ускорен бърз влак)
София - Варна (Ускорен бърз влак)
София - Русе (Ускорен бърз влак)
София - Видин (Ускорен бърз влак)
София - Благоевград (Ускорен бърз влак)
София - Пловдив (Бърз влак)
София - Бургас (Бърз влак)
София – Бургас 3 жп линия (Бърз влак)
София - Варна 8 жп линия (Бърз влак)
София – Варна 3 жп линия (Бърз влак)
Пловдив – Варна 4жп линия (Бърз влак)
София - Варна (Бърз влак)
Русе - Варна (Бърз влак)
София – Горна Оряховица (Бърз влак)
София - Русе (Бърз влак)
Пловдив - Русе (Бърз влак)
София - Видин (Бърз влак)
София - Лом (Бърз влак)
София - Кюстендил (Бърз влак)
София – Кулата (Бърз влак)
Пловдив – Варна 8 жп линия (Бърз влак)
София - Свиленград (Бърз влак)

Вариантите на маршрутизация на категориите бързи влакове, които се изследват са:

- **Схема 1** - Директен влак-Ускорен бърз влак- Бърз влак- (4 вагона);
- **Схема 2** - Директен влак-Ускорен бърз влак- Бърз влак- (3 вагона);
- **Схема 3** - Директен влак - (3 вагона) -Ускорен бърз влак- Бърз влак (4вагона);
- **Схема 4** - Директен влак - Бърз влак- (4 вагона);
- **Схема 5** - Директен влак- Бърз влак- (3 вагона);
- **Схема 6** - Директен влак - (3 вагона)- Бърз влак- 4 вагона);
- **Схема 7** - Ускорен бърз влак - Бърз влак- (4 вагона);
- **Схема 8** - Ускорен бърз влак - Бърз влак- (4 вагона);
- **Схема 9** - Ускорен бърз влак - (3 вагона) - Бърз влак- (4 вагона).

II.4.3.2. Определяне на преките експлоатационни разходи на назначенията влакове

Определени са преките експлоатационни разходи за влак от 3 и от 4 вагона за изследваните назначения влакове, определени по методиката изложена в т. II.3.1.

Таб.2.13.Преки експлоатационни разходи лв./ден- състав на влака 4 вагона

Назначение	Инфраструктурни такси, лв /ден	Заплати, лв/ден	Километрично възнаграждение, лв/ден	Ел.енергия, лв /ден	Общо, лв /ден
x1	228.81	99.46	23.4	330	681.67
x2	654.45	120	82	821	1677.45
x3	797.00	120.06	100	793	1810.06
x4	228.81	99.46	23.4	373	724.67
x5	654.45	120	82	915	1771.45
x6	612.01	120	77	668	1477.01
x7	797.00	120.06	100	920	1937.06
x8	597.80	120	76	624	1417.80
x9	394.14	120	50	379	943.14
x10	180.22	99.46	19	202	500.68
x11	228.81	99.46	23.4	458	809.67
x12	654.45	120	82	1059	1915.45
x13	612.01	120	77	828	1637.01
x14	800.00	120	101	1232	2253.00
x15	612.01	120	95	1014	1841.01
x16	732.60	120	93	1148	2093.60
x17	797.00	120.06	100	1064	2081.06
x18	331.14	120	42	447	940.14
x19	422.00	120.06	53	572	1167.06
x20	597.80	120	76	764	1557.80
x21	546.52	120	69	851	1586.52
x22	394.14	120	50	555	1119.14
x23	300.37	120	38	425	883.37
x24	149.45	99	15	413.1	676.55
x25	305.36	120	39	508	972.36
x26	571.43	120	72	784	1547.43
x27	438.00	120	55	768	1381.00

II.4.3.3. Оптимизационен модел за избор на оптимална вариантна схема по критерий минимум на преките експлоатационни разходи

Оптимизационната функция е:

$$(2.42) \quad 681.67 \cdot X_1 + 1677.45 \cdot X_2 + 1810.06 \cdot X_3 + 724.67 \cdot X_4 + 1771.45 \cdot X_5 + 1477.01 \cdot X_6 + 1937.06 \cdot X_7 + 1417.80 \cdot X_8 + 943.14 \cdot X_9 + 500.68 \cdot X_{10} + 809.67 \cdot X_{11} + 1915.45 \cdot X_{12} + 1637.01 \cdot X_{13} + 2253.00 \cdot X_{14} + 1841.01 \cdot X_{15} + 2093.60 \cdot X_{16} + 2081.06 \cdot X_{17} + 940.14 \cdot X_{18} + 1167.06 \cdot X_{19} + 1557.80 \cdot X_{20} + 1586.52 \cdot X_{21} + 1119.14 \cdot X_{22} + 883.37 \cdot X_{23} + 676.55 \cdot X_{24} + 972.36 \cdot X_{25} + 1547.43 \cdot X_{26} + 1381.00 \cdot X_{27} \rightarrow \min$$

Изследването е извършено при изменение на пътничепотока в границите от (-15%) до 30%, със стъпка 5%. С това изменение на пътничепотока са изследвани всички вариантни схеми, за които по оптимизационния модел са определени броят на влаковете и преките експлоатационни разходи.

В таб.2.15. са показани експлоатационните разходи за всяка от вариантните схеми и за всяко изменение на пътничепотока. Експлоатационните разходи са определени, като средна стойност от нечетна и четна посока на движение на влаковете. В изследването се предполага, че ГДВ е чифтен, т.е броят на влаковете за двете посоки на движение е равен.

Таб.2.15. Преки експлоатационни разходи, лв./ден

Процентно изменение на пътничепотока за всяка вариантна схема									
%	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4	Схема 5	Схема 6	Схема 7	Схема 8	Схема 9
-15%	46920.9	43667.7	46375.6	45494.74	47976.2	45719.62	42751.75	47125.33	44838.69
-10%	46920.9	49239.8	46375.6	45494.74	51209.82	47312.68	44667.2	49516.81	46754.14
-5%	48836.4	55951.7	49884.1	48171.68	53723.07	49989.62	44667.2	52231.88	47592.02
0%	48836.4	55951.7	49884.1	48171.68	56186.15	49989.62	45476.87	52231.88	48401.69
5%	48836.4	57867.2	49884.1	49849.13	56186.15	49989.62	49329.38	55960.47	51782.77
10%	48836.4	60903.5	51305.3	53874.36	59361.11	54014.85	49329.38	58213.3	52420.43
15%	50751.8	62704.9	53220.8	54550.91	63970.73	56894.12	51266.44	58989.6	52420.43
20%	59430.5	64828.4	61899.4	59718.7	65921.79	60251.85	57032.77	61032.81	58186.77
25%	65215.3	66324.8	65874.2	62750.34	66769.71	63283.49	61007.55	64555.35	62915.15
30%	65215.3	66324.8	65874.2	62750.34	66769.71	63283.49	61007.55	65580.41	62915.15

II.5. Изводи

1. Дефинирани са коефициент на тежест на пътничепотоците за жп направления и коефициент на директност на пътничепотоците, т.II.2. формули (2.01) и (2.02).
2. Анализирани са основни направления от жп мрежа и са предложени директни бързи влакове с намалени спирания за направление София – Пловдив – Бургас и София – Г.Оряховица – Варна, т.II.4.1.
3. Определени са вариантни схеми за обслужване с различни категории бързи влакове, т.II.4.3.
4. Проведено е анкетно изследване на пътници във влакове София – Пловдив и е направен анализ на резултатите, което показва желание от страна на пътниците за наличието на директни влакове с намален брой спирания и повишена скорост, т.II.4.2.
5. На основата на линеен оптимизационен модел по критерий минимум преки експлоатационни разходи е определена оптимална схема за превоз.
6. Резултатите от проведеното изследване доказват ефективността на организация на директенни влакове на дълги разстояния с намалени спирания за направления София-Пловдив-Бургас и София-Горна Оряховица-Варна.
7. Изследването по предложената методика при основен пътничепоток (без процентно изменение на пътничепотока) позволява да се определи броят и назначенията на влаковете за ежедневно влаково обслужване. Проведеното изследване за изменение на пътничепотока и получените резултати могат да се използват при определяне на извънредни, сезонни или календарни допълнителни влакове.

ГЛАВА III. МНОГОКРИТЕРИАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА СХЕМАТА ЗА ПРЕВОЗ НА БЪРЗИТЕ ВЛАКОВЕ

III.1. Основни положения

Най-важните фактори за пътниците при ползването на транспортната услуга са скоростта, условията на пътуването, честотата на услугата, цената на билета. За жп превозвача е важно да се определят оптималните параметри на организацията на пътническите влакове, като се вземат предвид оперативните разходи. За да се задоволят изисквания на пътниците и възможностите на железопътния превозвач за организиране на междуградски влакове е необходимо да се изследват различни схеми на превоз, които да се оценят по количествени и качествени критерии. Подходящ метод за изследване в този случай е многокритериалния анализ, по-който могат да бъдат оценени различни алтернативи. 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 отчетат и ползите по предварително определени количествени и качествени показатели.

III.2. Разработване на многокритериален модел за оптимизация на схемата за превоз на бързите влакове

Многокритериалният модел включва следните стъпки:

- Дефиниране на показатели за оценка на вариантни схеми;
- Приоритизиране на показателите по метода АНР;
- Прилагане на метода АНР за избор на оптимална схема по дефинираните показатели;
- Нормализиране на преките експлоатационни разходи, определени в Глава II за всяка вариантна схема;
- Прилагане на метода Разходи/Ползи за избор на оптимална схема за превоз.

III.2.1. Дефиниране на критерии на многокритериален модел за оптимизация на междуградските жп превози

В изследването са определени следните критерии:

- K1 – Транспортна задоволеност, брой влакове/ден
- K2 – Среден брой спирания на влак, брой спирания
- K3 – Средно влаково рамо (Средно превозно разстояние), km
- K4 – Средна участъкова скорост на движение, km/h
- K5 – Надеждност, коефициент
- K6 – Наличие на обслужване с директен превоз
- K7 – Транспортен капацитет, брой места

III.2.2. Метод на аналитичната йерархия (АНР)

В изследването е приложен методът на аналитичната йерархия (АНР), разработена от Saaty. 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.

Таб.3.01. Скала на Саати за относителните важности

Интензивност на значението	Определение	Пояснение
1	Еднакво значими	Двете дейности допринасят в еднаква степен за целта.
3	Умерено(средно) значим	Въз основа опита и преценката се дава важност на единия критерий спрямо другия.
5	Съществено(силно) значим	Въз основа опита и преценката се дава по-голяма важност на единия критерий спрямо другия.

Интензивност на значението	Определение	Пояснение
7	Много силно значим	Дейността е предпочитана пред другата и доминацията е доказана в практиката.
9	Изключително значим	Доказателства за предпочитането на едната дейност спрямо другата на възможно най-висока степен на утвърждаване.
2,4,6,8	Средни стойности между две близки преценки	Когато е необходим компромис

Анализът на чувствителността се извършва с помощта на следния коефициент:

$$(3.11) \quad CR = \frac{CI}{RI} \leq 0,1$$

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

III.2.3. Метод за избор на оптимална схема за превоз

Следваща стъпка в методиката за избор на оптимална схема за превоз е определянето на отношението на нормализираните разходи към оценките на вариантите схеми. Критерият за избор на оптимална схема за превоз е минимум на отношението на нормализираните разходи към оценките:

$$(3.13) \quad r_i = \frac{c_i}{b_i} \rightarrow \min$$

където: c_i са нормализираните разходи за вариантна схема i ; b_i е приоритета определен по метода АНР за всяка вариантна схема i .

Нормализираните разходи се определят по формулата:

$$(3.14) \quad c_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i}$$

където: g_i преките експлоатационни разходи за вариантна схема i , лв./ден.

III.3. Приложение на многокритериалния модел за оптимизация на схемата за превоз на бързите влакове

III.3.1. Определяне на стойностите на критериите за вариантни схеми за превоз

За всяка вариантна схема i и за всяко изменение на пътничопотока са определени стойностите на критериите, дефинирани в т. III.2.1

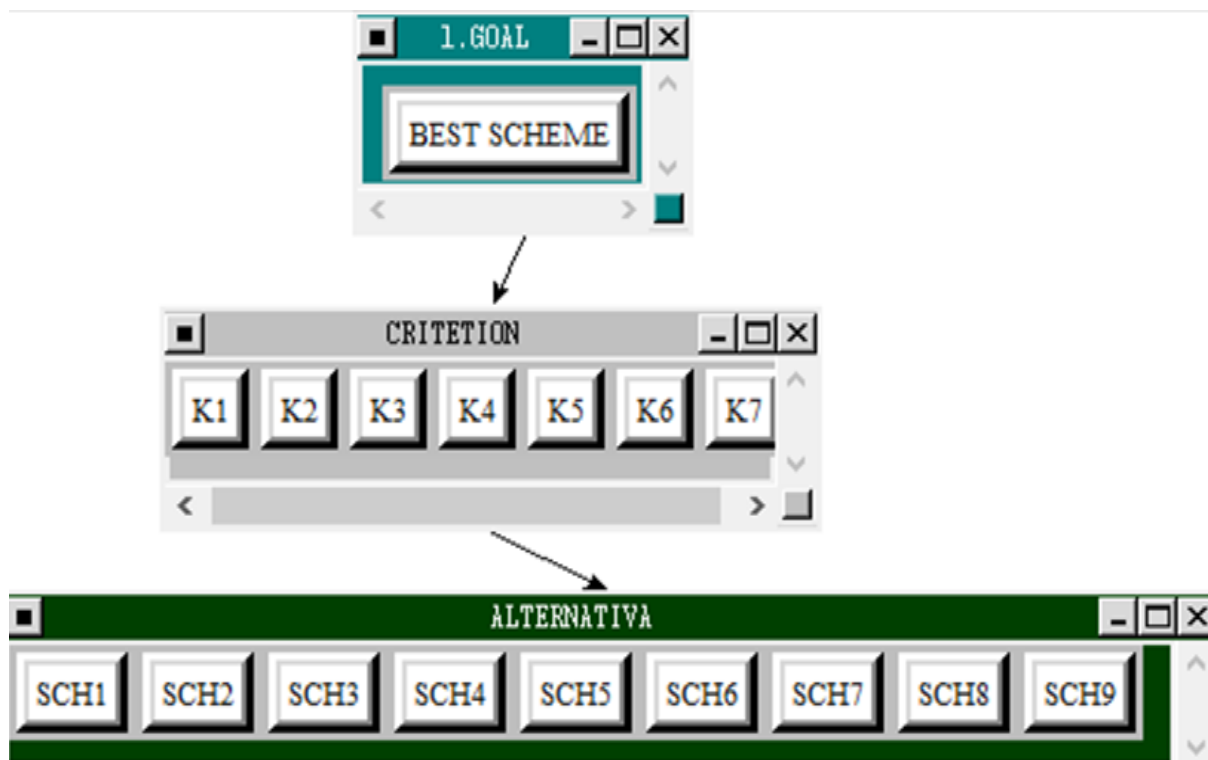
Стойностите на критериите c_i са определени за всяка вариантна схема i и за всяко изменение на пътничопотока и са показани в таблици от 3.03 до 3.09.

III.3.2. Определяне на теглата на критериите и приоритизиране на вариантите схеми с прилагане на АНР метод

III.3.2.1. Определяне на теглата на критериите

На фиг.3.04. е показана схема на йерархичния модел АНР в софтуера Super – Decision.

В таб.3.10. е показана оптимизационната матрица на оценките на критериите, определени по скалата на Саати. Резултатите от прилагането на АНР метода за тежестите на критериите са показани в таб.3.10.



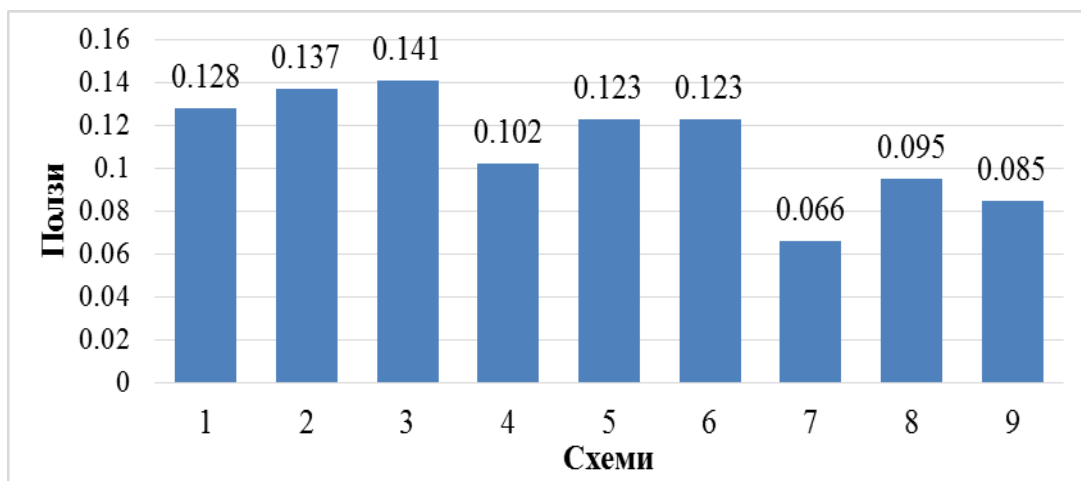
Фиг.3.04. AHP модел за избор на оптимална схема за превоз в Super – Decision

Таб.3.10. Приоритизационна матрица на критериите

Приоритизационна матрица	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Тежест
K1: Транспортна задоволеност	1	1	5	1	2	1	1	0.171
K2: Среден брой спирания на влак	1	1	2	1/5	1/2	1/5	1	0.076
K3: Средно превозно разстояние	1/5	1/2	1	1/5	1/3	1/5	1/2	0.039
K4: Средна участъкова скорост	1	5	5	1	2	2	2	0.26
K5: Надеждност	1/2	2	3	1/2	1	1/2	3	0.13
K6: Възможност за директен транспорт	1	5	5	1/2	2	1	5	0.24
K7:Транспортен капацитет	1	1	2	1/2	1/3	1/5	1	0.084
CI=0.063≤0.1								

III.3.2.2. Приоритизиране на вариантите схеми

На фиг.3.08. са показани резултати за приоритизиране на вариантите схеми, за случая без изменение на пътничкопотока.



Фиг.3.08. Резултати за приоритизиране на вариантите схеми, за случая без изменение на пътничкопотока

Софтуерът Super – Decision позволява да се направи анализ на чувствителността на полученото решение. В таб.3.12. е показан интервалът на стабилност за запазване на решението на всеки критерий.

Таб.3.12. Анализ на чувствителността на решението

Показател	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Тегло	17.10%	7.60%	3.90%	26%	13%	24%	8.40%
От	0%	4.30%	0%	0%	0%	0%	0%
До	20.20%	100%	78.70%	85.80%	58.1%	91.50%	100%

Критериите K2,K3,K4,K6 и K7 имат висока степен на стабилност. Малък интервал на запазване на решението имат критериите K1 (от 0% до 20,20%) и K5 (от 0% до 58,1%).

III.3.3. Метод за избор на оптимална схема за превоз

Оптималната схема се избира по минималната стойност на критерия, показващ отношението на нормализираните разходи (получени от преките експлоатационни разходи) и оценките, съответстващи на АНР приоритета.

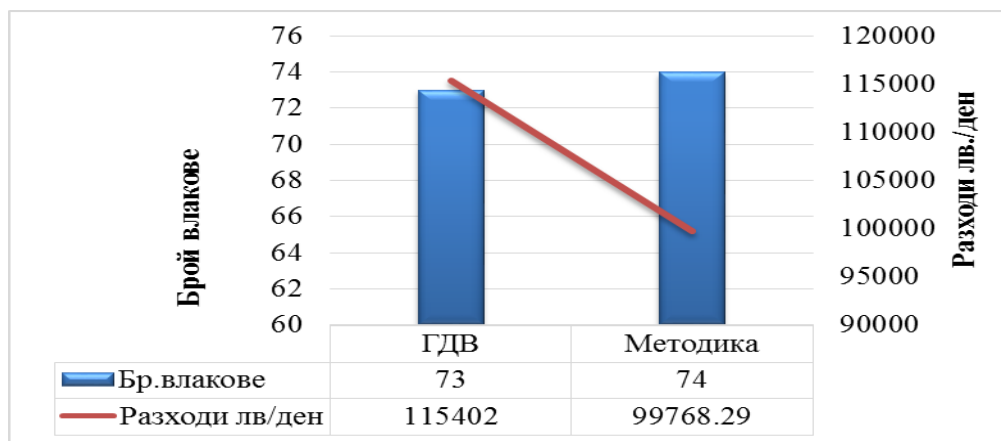
Таб.3.14. Оценка по нормализирани метода разходи/оценки

СХЕМА		1	2	3	4	5	6	7	8	9
-15%	Оценки(Метод АНР)	0.145	0.135	0.145	0.109	0.122	0.103	0.072	0.095	0.074
	Нормализирани разходи	0.1142	0.1063	0.1129	0.1107	0.1168	0.1113	0.1041	0.1147	0.1091
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.788	0.787	0.778	1.016	0.957	1.080	1.445	1.207	1.475
-10%	Оценки(Метод АНР)	0.142	0.125	0.142	0.108	0.118	0.119	0.069	0.093	0.084
	Нормализирани разходи	0.1098	0.1152	0.1085	0.1064	0.1198	0.1107	0.1045	0.1158	0.1094
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.773	0.921	0.764	0.985	1.015	0.930	1.514	1.245	1.302
Схема		1	2	3	4	5	6	7	8	9
-5%	Оценки(Метод АНР)	0.129	0.139	0.142	0.103	0.124	0.124	0.067	0.094	0.078
	Нормализирани разходи	0.1083	0.1240	0.1106	0.1068	0.1191	0.1108	0.0990	0.1158	0.1055
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.839	0.892	0.779	1.037	0.961	0.894	1.478	1.232	1.353

	Схеми	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0%	Оценки(Метод АНР)	0.128	0.137	0.141	0.102	0.123	0.123	0.066	0.095	0.085
	Нормализирани разходи	0.1073	0.1229	0.1096	0.1058	0.1235	0.1098	0.0999	0.1148	0.1063
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.838	0.897	0.777	1.038	1.004	0.893	1.514	1.208	1.251
5%	Оценки(Метод АНР)	0.119	0.136	0.131	0.097	0.119	0.118	0.079	0.094	0.107
	Нормализирани разходи	0.1040	0.1232	0.1062	0.1061	0.1196	0.1064	0.1050	0.1191	0.1102
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.874	0.906	0.811	1.094	1.005	0.902	1.329	1.267	1.030
10%	Оценки(Метод АНР)	0.111	0.145	0.139	0.101	0.113	0.103	0.076	0.102	0.11
	Нормализирани разходи	0.1000	0.1247	0.1051	0.1103	0.1216	0.1106	0.1010	0.1192	0.1074
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.901	0.860	0.756	1.092	1.076	1.074	1.329	1.169	0.976
15%	Оценки(Метод АНР)	0.105	0.147	0.141	0.092	0.12	0.109	0.077	0.103	0.106
	Нормализирани разходи	0.1005	0.1242	0.1054	0.1081	0.1267	0.1127	0.1016	0.1169	0.1039
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.958	0.845	0.748	1.175	1.056	1.034	1.319	1.135	0.980
20%	Оценки(Метод АНР)	0.125	0.149	0.148	0.096	0.119	0.102	0.079	0.097	0.085
	Нормализирани разходи	0.1084	0.1182	0.1129	0.1089	0.1202	0.1099	0.1040	0.1113	0.1061
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.867	0.794	0.763	1.135	1.010	1.077	1.317	1.148	1.248
25%	Оценки(Метод АНР)	0.124	0.135	0.138	0.108	0.125	0.114	0.062	0.094	0.1
	Нормализирани разходи	0.1127	0.1146	0.1138	0.1084	0.1154	0.1094	0.1054	0.1116	0.1087
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.91	0.849	0.825	1.004	0.923	0.959	1.700	1.187	1.087
30%	Оценки(Метод АНР)	0.125	0.132	0.134	0.106	0.124	0.112	0.078	0.087	0.102
	Нормализирани разходи	0.1125	0.1144	0.1136	0.1082	0.1152	0.1092	0.1052	0.1131	0.1085
	Нормализирани разходи/Оценки(АНР)	0.900	0.867	0.848	1.021	0.929	0.975	1.349	1.300	1.064

Оптимална по отношение на отношението нормализирани разходи/оценки на вариантите схеми за всяко изменение на пътничопотока в изследваните граници на изменение е Схема 3, при която директни влакове композирани от 3 вагона, ускорени бързи и бързи влакове композирани от 4 вагона.

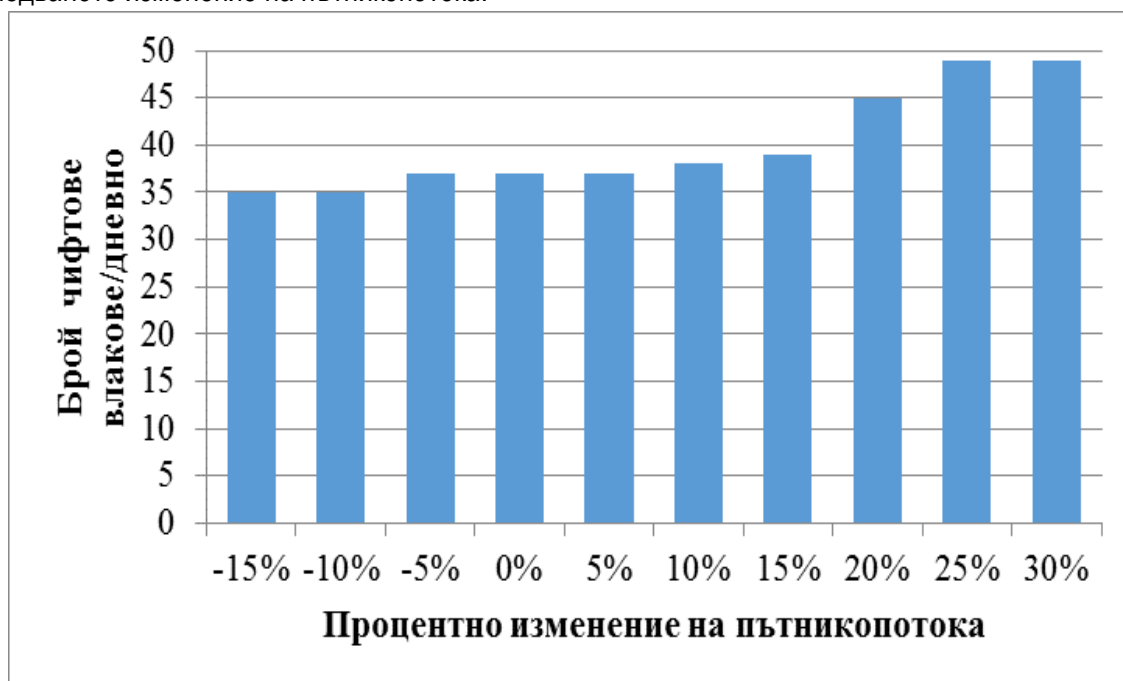
На фиг.3.14. е показана съпоставка на разходите и броят на влаковете на ускорените бързи и бързи влакове определени по методиката и по ГДВ.



Фиг.3.14. Съпоставка на оптималната схема определена по методиката и ГДВ

За да се направи съпоставка на разходите по оптималната схема с разходите на бързите и ускорените влакове по ГДВ е направено изчисление по методиката на разходите на движещите се бързи и ускорени бързи влакове по ГДВ. Резултатите показват, че оптималната вариантна схема по методика предлага увеличаване на транспортното обслужване с влакове при намаляване на преките експлоатационни разходи спрямо съществуващото положение.

На фиг.3.17. е направено сравнение на преките експлоатационните разходи и приходите от реалния пътникопоток и неговото изменение, по който е определен броя на влаковете за оптималната схема. 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. На фиг.3.15. са показани резултатите за броя на чифтовете на влаковете за оптималната схема при изследваното изменение на пътникопотока.

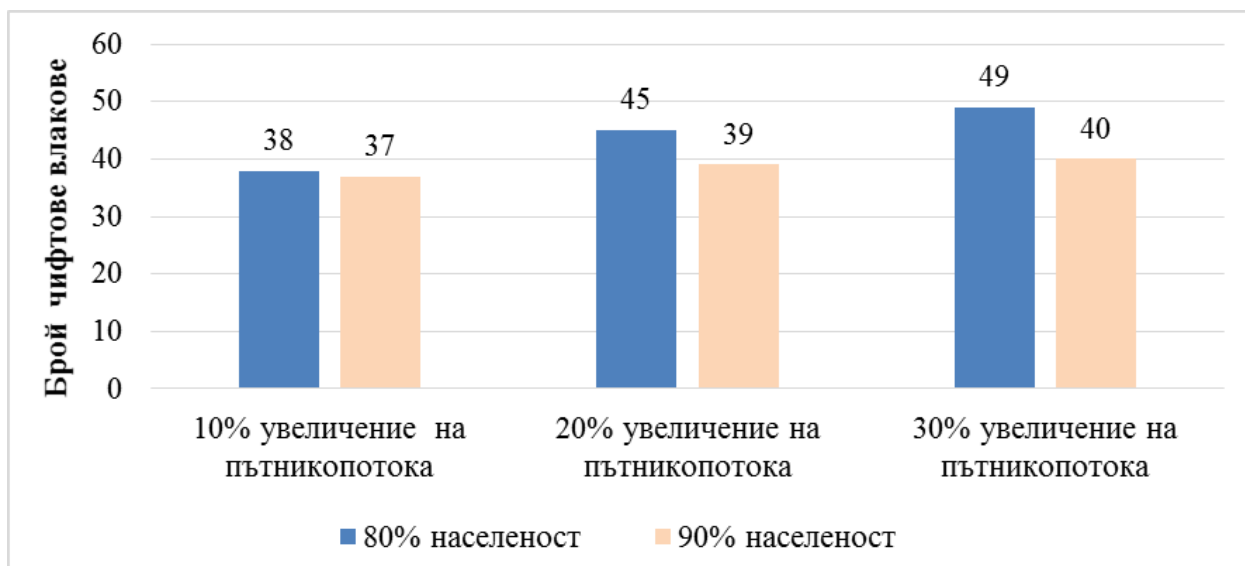


Фиг.3.15.Брой чифтове влакове при изменение на пътникопотока

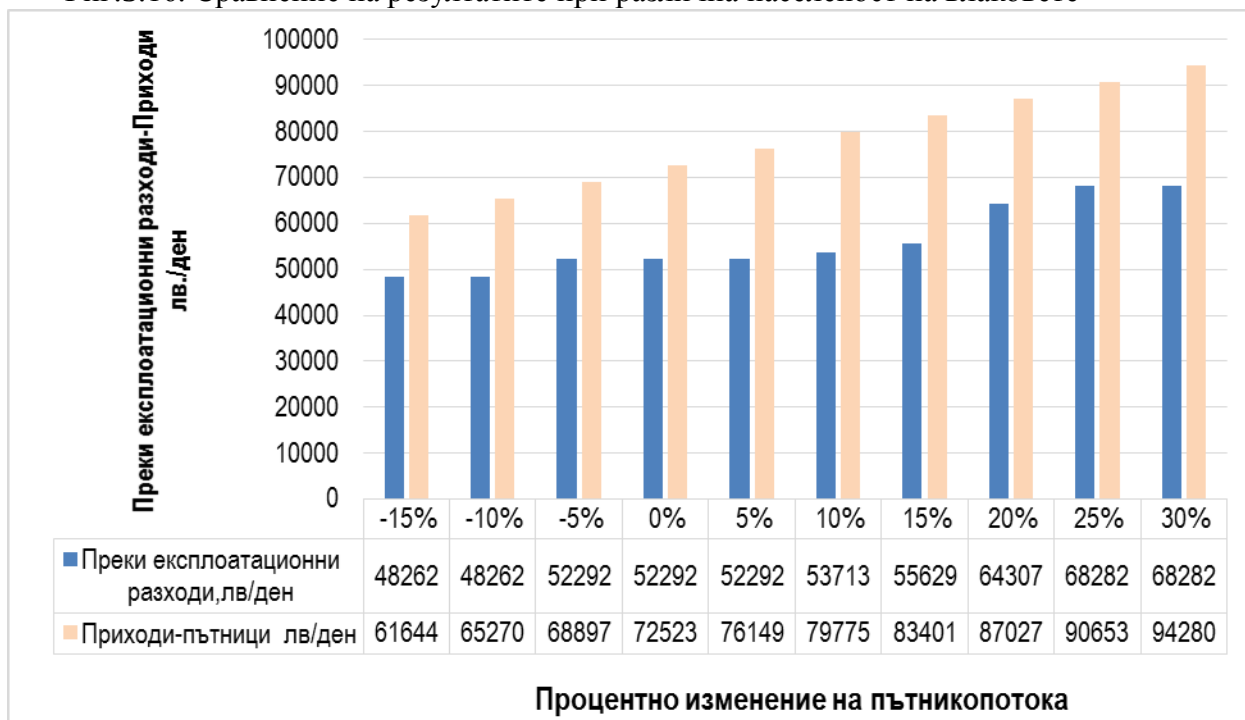
На фиг.3.16. е показано сравнение на броя на чифтовете влакове при 80% и 90% населеност, съответно при увеличение на пътникопотока. При населеност на влаковете от 80% има резерв от поемане на увеличен пътникопоток до около 20%. При увеличение на пътникопотока над 20%, определянето на техния брой с увеличена 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 81 влака.

На фиг.3.17. е направено сравнение на преките експлоатационните разходи и приходите от реалния пътникопоток и неговото изменение, по който е определен броя на влаковете за оптималната схема. 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.



Фиг.3.16. Сравнение на резултатите при различна населеност на влаковете



Фиг.3.17. Сравнение на преките експлоатационни разходи и приходите при изменение на пътникопоток (данните са средно еднопосочно)

III.4. Изводи

1. Разработена е комплексна методика за оптимизация на маршрутизацията на пътническите жп превози, която включва линейна оптимизация по критерий минимум преки експлоатационни разходи, многокритериален модел по метода на аналитична йерархия (АНР) за определяне на тежестите на показателите, и метод отношението на

нормализирани разходи/ Оценки на вариантите схеми за избор на оптимална схема за превоз.

2. Комплексната методика е приложена за изследване на вариантите схеми за превоз на бързи влакове в жп мрежа.
3. Определени са показатели за оценка на вариантни схеми на влаково обслужване, т.ІІІ.2.1.
4. Определени са тежестите на показателите по метода АНР, ІІ.4.5. Най-голяма тежест имат показателите – средна участъкова скорост (0,26), наличие на директен превоз (0,24) и транспортна задоволеност (0,17).
5. 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.
6. Оптималната схема 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.
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. Предлагаият брой влакове е 74 срещу 73 по ГДВ, от които директни бързи влакове са по маршрутите София – Пловдив (1 чифт), София-Пловдив-Бургас (1 чифт) и София – Горна Оряховица-Варна (2 чифта). Предлагащата маршрутна схема се различава по категории, състав и назначения от съществуващата по ГДВ.
9. Изследвано е влиянието на изменението на пътничепотока върху избора на оптимална схема за превоз. Резултатите показват запазване на оптималната схема от 3 категории влакове, за която е определен броят на влаковете за всяко назначение.
10. При увеличаване на пътничепотока от 20% до 30%, според параметрите на методиката, подвижният състав е недостатъчен и трябва да се закупи допълнителен; увеличеният пътничепоток от 20% до 30% може да бъде превозен и със съществуващия подвижен състав, но с намалена честота на превозите.
11. Изследването по комплексната методика при основен пътничепоток (без процентно изменение) позволява да се определи броят и назначенията на влаковете за ежедневно влаково обслужване. Проведеното изследване за изменение на пътничепотока може да се използва при определяне на извънредни, сезонни или календарни допълнителни влакове.
12. 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.

ГЛАВА ІV. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАКЪСНЕНИЯТА НА БЪРЗИТЕ ВЛАКОВЕ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА МРЕЖА

ІV.1. Основни положения

Закъсненията на влаковете могат да възникнат в начална гара, на междугарие, в междинна или крайна гара.

Определянето на закона за разпределение на продължителността на закъснението е важно за изследване на причините, които го пораждат, влиянието върху търсенето на превози, взаимодействието на пътническите влакове от различни категории във възловите гари, взаимоотношенията между железопътните оператори и управителя на железопътната инфраструктура. При определяне на закона за разпределение на продължителността на закъсненението, най-често прилаганите функции са експоненциално разпределение, гама разпределение и разпределение на Вейбул.

Целта на изследването е да се анализира изпълнението на графика на движение на бързите пътнически влакове, като се проучат закъсненията им и причините, които ги пораждат.

IV.2. Математическа формулировка

Методиката за изследване на закъсненията на бързите влакове съдържа следните основни стъпки:

- Изследване на причините за закъснение на бързите влакове;
- Изследване на закъсненията на бързите влакове чрез матрицата на риска;
- Определяне на закона за разпределение на продължителността на закъснението на бърз влак

IV.2.1. Матрица на риска

IV.2.1.1. Видове причини за закъснения на влаковете

Причините за закъснението на влаковете може да са по вина на НК "Железопътна инфраструктура" (НК"ЖИ"), "БДЖ Пътнически превози" ("БДЖ ПП") или по други фактори.

IV.2.1.2. Матрица на риска

Анализът и оценката на рисковете е процес, при който рисковете се анализират с цел да се определи вероятността те да се сбъднат. Целта е да се постави количествена оценка на всеки риск на база, на която те да бъдат приоритизирани (за целите на модифицирането им).

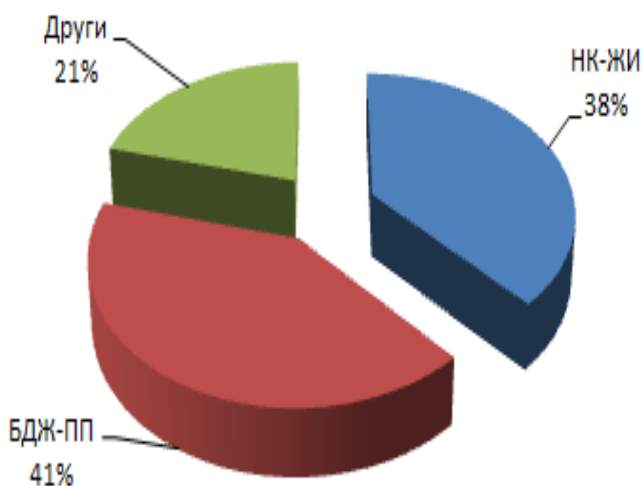
IV.2.1.2. Теоретични характеристики на закона за разпределение

Закъснението на влаковете е случайна величина. По вида на хистограмата на разпределението на случайната величина може да се предположи за закона за разпределение. Най-често прилаганите функции са логаритмично-нормален закон, Гама разпределение, разпределение на Вейбул и експоненциално разпределение.

IV.3. Приложение на методиката изследване на закъсненията на бързите влакове в железопътната мрежа

IV. 3. 1. Изследване на причините за закъснение на бърз влак

На фиг.4.02. са показани обобщени резултати за причините за закъсненията по вина на превозвача, управителя на железопътната инфраструктура и други причини. По голяма част от причините са по вина на превозвача и управителя на жп инфраструктура.



Фиг.4.02. Процентно съотношение на причините за закъснение

IV. 3. 2. Изследване на риска за закъснение на бърз влак

Матрицата на риска от закъснения е съставена по причини на превозвача, на Управителя на жп инфраструктура и по други причини. Закъсненията на бързите влакове са изследвани за тригодишен период 2011 г – 2013 г. Минутите на закъснение са структурирани в 8 групи: до 10 min.; от 11 до 20 min.; от 21 до 30 min.; от 31 до 40 min.; от 41 до 50 min.; от 51 до 60 min.; от 61 до 100 min. и над 100 min.

Зоните в матрицата на риска са червена, зелена и жълта. В червената зона са закъснения с вероятност над 50%, в жълтата зона са закъснения с вероятност от 25% до 50%, а в зелената са закъснения с вероятност от 0% до 24%.

ЖП МРЕЖА										
2011-2013г.	НК "ЖИ"					"БДЖ - ПП" ЕООД				Други
	УДВК	Ж.П.С.	С.Т.	Енергетика	Връзка	Локомотиви	Вагони	Пътн. превози	Връзка	
УБВ	Вероятност									
0-10	0.53	0.72	0.82	0.66	0.47	0.69	0.52	0.77	0.44	0.48
11 до 20	0.34	0.22	0.13	0.17	0.30	0.21	0.26	0.13	0.44	0.30
21 до 30	0.06	0.04	0.04	0.05	0.17	0.06	0.11	0.06	0.11	0.10
31 до 40	0.00	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.06	0.02	0.00	0.05
41 до 50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
51 до 60	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
61 до 100	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01	0.01	0.05	0.02	0.00	0.03
над 100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
БВ										
0-10	0.64	0.69	0.73	0.42	0.51	0.61	0.49	0.63	0.31	0.37
11 до 20	0.27	0.23	0.21	0.23	0.35	0.21	0.24	0.22	0.40	0.30
21 до 30	0.05	0.05	0.04	0.11	0.06	0.07	0.14	0.07	0.14	0.14
31 до 40	0.02	0.02	0.01	0.07	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07
41 до 50	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04
51 до 60	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03
61 до 100	0.01	0.00	0.00	0.08	0.01	0.03	0.05	0.01	0.03	0.04
над 100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Фиг.4.07. Матрица за оценка на риска от вероятността за закъсненията на бързите влакове в жп мрежата

На фиг.4.07. показан резултата от матрицата за оценка на риска от вероятностно закъснение на бързите влакове в жп мрежата. В червената зона попадат закъсненията в интервала до 10 минути, като най-вероятните причини за това, са свързани с управление движението на влаковете и капацитета, железният път и съоръженията, съобщителна техника, енергоснабдяване, локомотиви и вагони и пътнически превози. В жълтата зона попадат закъсненията в интервала до 20 минути, като най-вероятните причини за това са свързани с връзка и други.

Червената и жълта зона показват, че трябва да се предприемат мерки за намаляване на процента на закъснение на влаковете в тези интервали.

IV.3.3. Определяне на закона за разпределение

Анализирана е база данни за три годишен период (2011 г – 2013 г). За да се определи законът за разпределение на продължителността на закъснението, данните са обработени с помощта на софтуера за статистически изследвания STATGRAPHICS CENTURION XVI.

Проведеното изследване включва:

- Изследване на статистическите характеристики на продължителността на закъснението на бързите влакове в крайна гара, общо за мрежата. Броят на изследваните случаи е 13539. Случаите обхващат закъсненията до 60 минути.

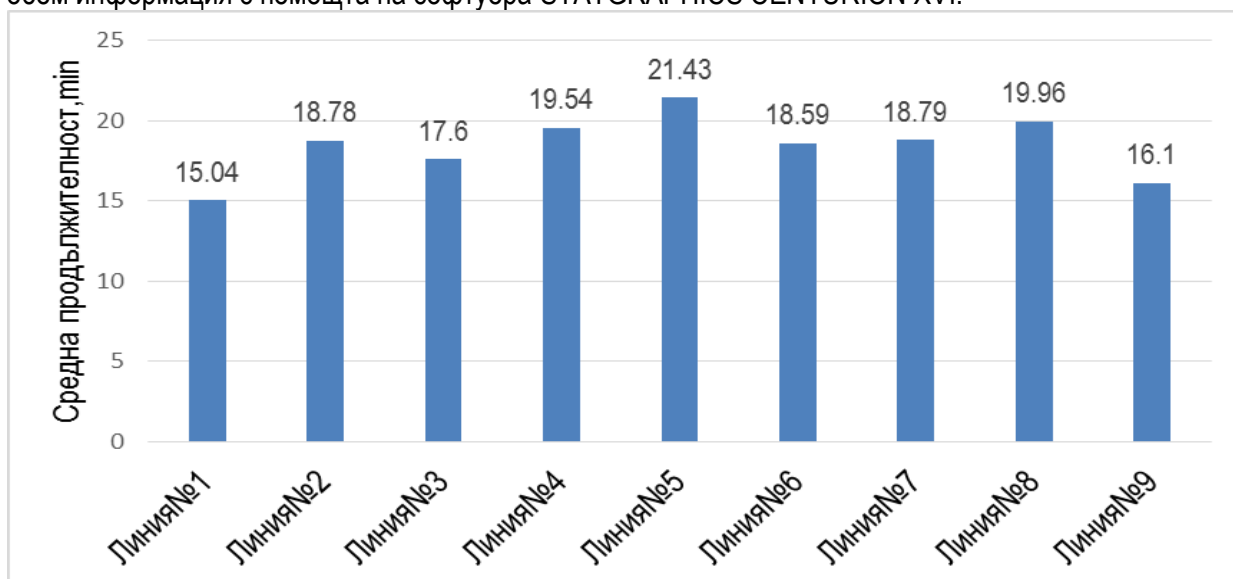
- Изследване на статистическите характеристики на продължителността на закъснението на бързите влакове в крайна гара – Централна гара София, общо за мрежата. Броят на изследваните случаи е 4712. Случаите обхващат закъсненията до 60 минути

- Определяне на закона за разпределение на продължителността на закъснението на бързите влакове в крайна гара, общо за мрежата по причини – Управление на движението на влаковете и капацитета, Връзки (от НКЖИ и БДЖ „Пътнически превози“) и по вина на БДЖ Пътнически превози“ Случаите обхващат закъсненията до 60 минути.

Закъснението на влаковете е случайна величина. По вида на хистограмата на разпределението на случайната величина е предположено, че разпределението на случайната величина може да се опише с логаритмично-нормален закон, Гама разпределение, разпределение на Вейбул и експоненциално разпределение. Проверката на хипотезите за съответствието им с

емпиричното разпределение е направена по критерият на Колмогоров-Смирнов. Нивото на значимост е 95%.

Статистическите характеристики на продължителността на закъснението породено от всички причини за за цялата жп мрежа и за Централна гара София са получени след обработка на голям обем информация с помощта на софтуера STATGRAPHICS CENTURION XVI.



Фиг.4.20. Средна продължителност на закъснение на бързи влакове по линии в жп мрежата, минути
Табл.4.05. Обобщени резултати за средната продължителност на закъснението, min

Случай	Средно, min	Стандартно отклонение, min
Железопътна мрежа	18,77	11,635
Централна гара София	18,46	11,015

IV.3.3.1. Определяне на закони за разпределение

Резултатите са оценени по теста на Колмогоров-Смирнов. За вида на разпределението се съди по критерия ниво на значимост („P-Value“).

В таб.4.07, фиг.4.24 са дадени резултати от проведените тестове за проверка на хипотези за вида на разпределението. На фиг.4.24 е показана хистограма за определяне на закона за разпределение.

Таб.4.07. Определяне на закона за разпределение на продължителността на закъснението в среда STATGRAPHICS CENTURION XVI за железопътна мрежа – причина нарушение на връзките по вина на НКЖИ и БДЖ „Пътнически превози“

495 values ranging from 1,0 to 70,0

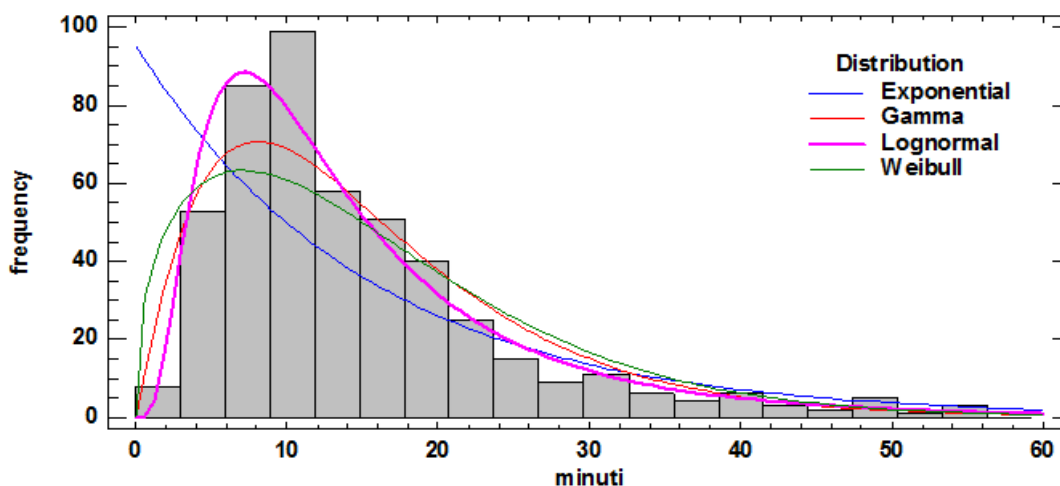
Fitted Distributions

Exponential	Gamma	Lognormal	Weibull
mean = 15,3778	shape = 2,10566	mean = 15,4044	shape = 1,41095
	scale = 0,136929	standard deviation = 12,6147	scale = 17,0506
		Log scale: mean = 2,47806	
		Log scale: std. dev. = 0,716368	

Goodness-of-Fit Tests for VRAZKI

Kolmogorov-Smirnov Test

	Exponential	Gamma	Lognormal	Weibull
DPLUS	0,0705642	0,0929275	0,0472592	0,104751
DMINUS	0,199828	0,051396	0,0570703	0,0815122
DN	0,199828	0,0929275	0,0570703	0,104751
P-Value	0,0	0,000387411	0,0795577	0,0000383068



Фиг.4.24. Хистограма за определяне на закона за разпределение на продължителността на закъсненията общо за мрежата в среда STATGRAPHICS CENTURION XVI - причина нарушение на връзките по вина на НКЖИ и БДЖ „Пътнически превози“

Получените резултати показват, че законът за разпределение на продължителността на закъснението на бързите влакове по нарушение на връзките по вина на НКЖИ и БДЖ „Пътнически превози“ е логаритмично нормален, със средно закъснение 15,40 min и стандартно отклонение 12,61 min. Доверителния интервал е в границите [14.28;16.51].

IV.4. Изводи

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

1. На базата на анализ на закъсненията на бързите и ускорените бързи влакове за три-годишен период е съставена матрица на риска от закъснение в крайна гара. Матриците са съставени и по жп линии, което дава възможност за конкретна оценка. Най-високият риск от закъснение по една причина е с продължителност до 10 минути, като тя може да бъде, както от страна на превозвача, така и от Управителя на железопътната инфраструктура.
2. Определени са законите за разпределение на продължителността на закъснението, по причина на НКЖИ - управление на движението на влаковете и капацитета, по причина нарушаване на връзките и по причина на БДЖ „Пътнически превози“ в крайна гара общо за мрежата. Най-голяма продължителност на закъснението е по причина на нарушаване на връзките - средно закъснение 15,40 min и стандартно отклонение 12,61 min. Изследването показва, че подходящ закон за този случай логаритмично нормален закон.
3. Средната продължителност на закъсненията на бързите влакове в крайна гара общо за жп мрежата и за Централна гара София имат близки стойности. Това се дължи на факта, че Централна гара София обслужва основната част от бързите влакове в жп мрежа.
4. С минимална продължителност на закъснение са бързите влакове от 1-ва жп линия (15,04 min), а с максимална – бързите влакове от 5-та жп линия (21,43 min).
5. За Централна гара София минималната продължителност на закъснението е за влаковете от 1-ва жп линия (14,72 min), а максималната е за 5-та жп линия (21,09 min). Продължителността на закъсненията за 1-ва, 2-ра и 8-ма жп линии, както и 5-та и 6-та жп линии имат близки стойности.
6. Определеният закон за разпределение на средна продължителност на закъснение на бърз влак по причина нарушение на връзки на влаковете може да послужи при оптимизиране на връзките на влаковете.

ГЛАВА V. Моделиране на взаимодействието на бързите влакове във възелните гари

V.1 Основни положения

Оптималното взаимодействие на пътните влакове във възелните гари има важно значение за общата продължителност на предвиждането на пътниците от началния до крайния пункт на пътуването им, както и за цялостната организация на превозите.

За да се моделира взаимодействието се прилага методика представена в [18,22,24,26,126], като в дисертационния труд допълнително се отчитат границите на изменение на минималната и максималната стойност на продължителността на връзката. Минималната продължителност на връзката зависи от инфраструктурата на жп гара, от скоростта на придвижване на пътниците. Максималната продължителност на връзката зависи от точността на изпълнението на ГДВ, от средното закъснение на пътническите влакове, конкретно за всяко от жп направленията, които осъществяват връзка. Необходимостта за трансфери на пътниците е резултат от икономически съображения, поради невъзможността да се обхванат всички изисквания на пътниците за директен транспорт. Чрез трансферите се увеличава броя на възможните кореспонденции, подобрява се оперативната гъвкавост и ефективността на железопътната мрежа. Трансферите имат и своите неудобства - причинен дискомфорт при смяната на влака (необходимост от пътническа ориентация и пешеходно придвижване за смяна на влака, преминаване през тунели), известно удължаване на времепътуването. Подобрения на качеството на транспортната услуга се получават при синхронизация на бързите влакове във възелните гари.

Целта на изследването е да се оптимизира взаимодействието на бързите влакове в Централна гара София. Задачата е да се минимизира сумата на времето за чакане на пътниците за осъществяване на връзка между бързите влакове.

V.2. Математическа формулировка

Оптималното взаимодействие на пътническите влакове във възелните пунктове се основава на минимална продължителност на чакане на пътниците за осъществяване на връзка в контактните пунктове.

В железопътния транспорт "връзка" е интервалът от време от пристигането на влак от дадено направление до момента на заминаване на влак от същия пункт за друго направление. За условията на БДЖ е разработен модел, при който критерият на оптимизация е свеждане до минимум на сумата от времето за чакане на пътниците за осъществяване на връзка в контактните пунктове [26].

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 Y_i . Минутата на пристигане Y_j в следващия възел се определя в зависимост от минутата на тръгване от предходния и времепътуването между двата възела t_i , т.е. $Y_j = Y_i + t_i$, min. При определяне на времепътуването се отчита само частта, надхвърляща цял час, например при времепътуване от 2 h 38 min се отчита само 38 min.

Оптимизационната функция има следния вид:

$$(5.01) \quad \sum_{i=1}^I Y_i - \sum_{j=1}^J Y_j + \sum_{v=1}^V Y_v \rightarrow \min,$$

Задачата се решава при следните ограничителни условия:

Условия, които изразяват продължителността на връзката. Продължителността на връзката трябва да отговаря на предварително определени граници:

$$(5.02) \quad t_{\min,k} \leq Y_j - Y_i + Y_v \leq t_{\max,k}$$

където:

- $t_{\min,k}; t_{\max,k}$ са съответно минималната и максималната продължителност на връзката, които се определят по следните условия:

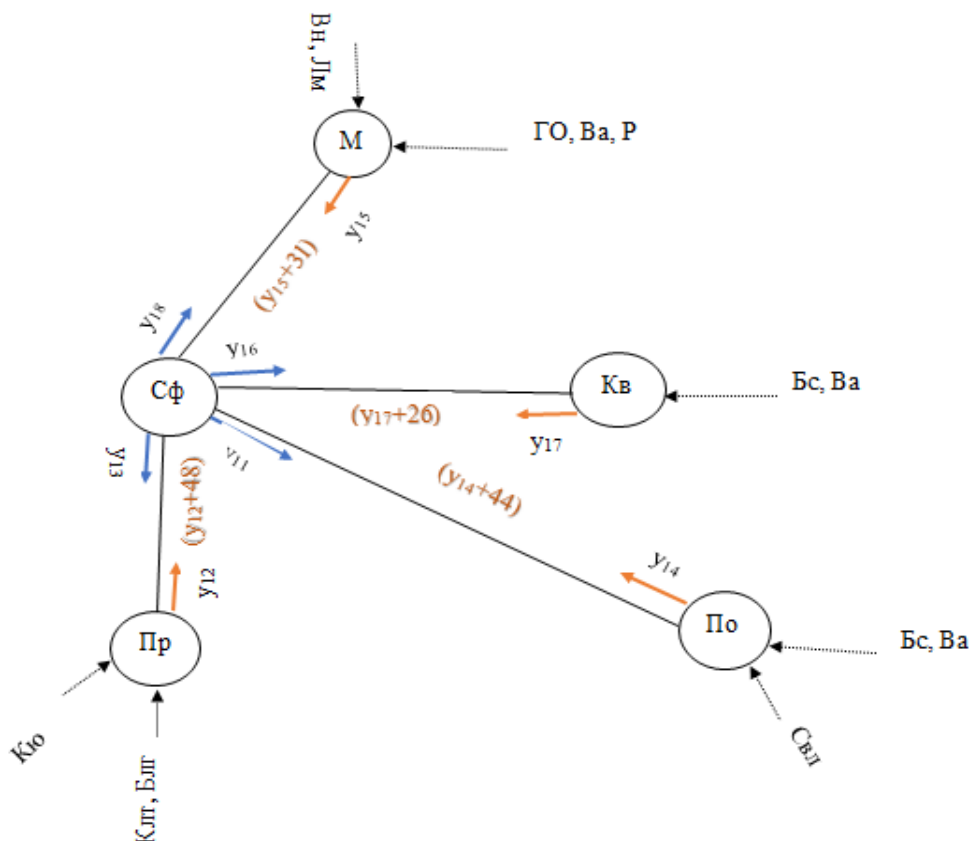
V.3. Приложение на методиката за моделиране на взаимодействието на бързите влакове във възелните гари

V.3.1. Определяне на основните неизвестни

Изложената методика е експериментирана за оптимизиране на взаимодействието на бързите влакове в Централна гара София. Тази гара е избрана, тъй-като тя е основна начална и крайна гара в жп мрежа, където започват и завършват движението си голяма част от бързите влакове.

За упростяване на модела и намаляване на броя на неизвестните е направено обединяване на жп направления в общи неизвестни.

На фиг.5.01 е показана схема на неизвестните и направленията, осъществяващи връзка.



Фиг. 5.01. Схема на основните неизвестни и жп направленията, осъществяващи връзка на бързи влакове в Централна гара София

Неизвестните изразяващи минутата на заминаване от Централна гара София са:

- y_{11} – минута на заминаване на бързи влакове в направление София-Пловдив. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София-Пловдив, София-Пловдив-Бургас, София-Пловдив-Карнобат-Варна, София-Пловдив-Свиленград.
- y_{12} – минута на заминаване на бързи влакове от гара Перник в направление Перник-София. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София-Перник – Благоевград, София – Перник-Кюстендил.
- y_{13} – минута на заминаване на бързи влакове от Централна гара София в направление София - Перник. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София-Перник – Благоевград, София – Перник-Кюстендил.
- y_{14} – минута на заминаване на бързи влакове от гара Пловдив в направление Пловдив-София. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София-Пловдив, София-Пловдив-Бургас, София-Пловдив-Карнобат-Варна, София-Пловдив-Свиленград.
- y_{15} – минута на заминаване на бързи влакове от гара Мездра в направление Мездра – София. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: Русе – Горна Оряховица – София, Варна – Горна Оряховица – София, Видин(Лом) –София.
- y_{16} – минута на заминаване на бързи влакове от Централна гара София в направление София – Карлово. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София – Карлово – Бургас, София – Карлово – Варна.

- y_{17} – минута на заминаване на бързи влакове от гара Карлово в направление Карлово - София. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: София – Карлово – Бургас, София – Карлово – Варна.

- y_{18} – минута на заминаване на бързи влакове от Централна гара София в направление София - Мездра. Това направление се обслужва от следните назначения бързи влакове, определени в Глава II: Русе – Горна Оряховица – София, Варна – Горна Оряховица – София, Видин(Лом) –София.

Целочислените неизвестни по модела са означени от y_1 до y_{10} .

V.3.2. Определяне на органичителните условия и целевата функция

V.3.2.1. Определяне на стойностите на минималната и на максималната продължителност на връзката

В изследването продължителността на преминаване на пътника от перона на пристигащия влак до перона на заминаващия влак $t_{p,ij,k}$ е приета за 10 минути.

Продължителността на средното закъснение на бърз влак t_d е определена в Глава IV, $t_d = 20$ min.

Това се основава на определеният закон на разпределение на закъсненията по причина нарушаване на връзките в Глава IV, със средна продължителност на закъснението 15,4 min и стандартно отклонение 12,61 min. В стойността на t_d е отчетена половината от стандартното отклонение, тъй –като броят на случаите със закъснение над 20 минути е малък.

При това положение минималната продължителност на връзката е $t_{min} = 30$ min; а максималната е $t_{max} = 40$ min.

V.3.2.2. Ограничителни условия и целева функция

Оптимизационната функция е:

(5.63)

$$2y_1 + 2y_2 + 2y_3 + 2y_4 + 2y_5 + 2y_6 + 2y_7 + 2y_8 + 2y_9 + 2y_{10} + 4y_{11} - 6y_{12} + 6y_{13} - 4y_{14} - 6y_{15} + 4y_{16} - 4y_{17} + 4y_{18} \rightarrow \min$$

V.4. Резултати и анализ

За експериментиране на оптимизационния модел е приложен софтуерен продукт КСИ „ОПТИМА“- ЛП, за линейно оптимизиране. Резултатите от работата със софтуерния продукт са показани в Приложение Глава V, от фиг.5.01. до фиг.5.03.

Изследването е проведено в следните варианти:

- Вариант 1: Без задаване на начални стойности на едно от неизвестните;
- Вариант 2: Задаване на начална стойност на y_{11} - минутата на заминаване на бързи влакове в направление София – Пловдив. $y_{11}=0,25$ (15-тата минута)
- Вариант 3: Задаване на начална стойност на $y_{11}=0$.
- Вариант 4: Задаване на начална стойност на y_{16} минута на заминаване на бързи влакове от Централна гара София в направление София – Карлово, $y_{16}=0,667$ (40-тата минута)

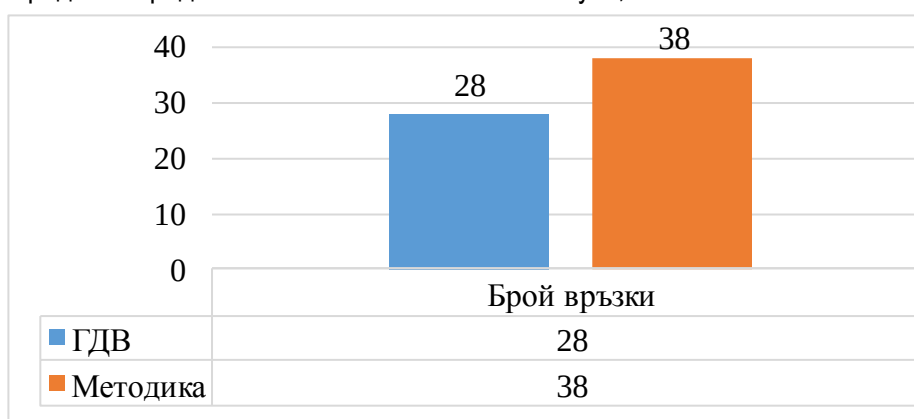
Таб. 5.03. Резултати от изследваните варианти на оптимизационния модел

Време-пътуване	2h 34min	48min	48min	2h 44min	1h 31min	2h 27min	2h 26min	1h30 min	Целева функ- ция	Средна продъл- жително ст на връзка, min
Вариант	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}	y_{16}	y_{17}	y_{18}		
	Сф-По	Пр-Сф	Сф-Пр	По-Сф	М-Сф	Сф-Кв	Кв-Сф	Сф-М		
1 Основен	59	41	59	45	58	59	53	59	21.21	32
2 $y_{11}=15$	15	57	15	1	14	15	9	15	22.68	32
3 $y_{11}=0$	0	41	59	45	58	59	53	59	21.28	33
4 $y_{16}=40$	40	22	40	26	40	40	44	50	21.83	32

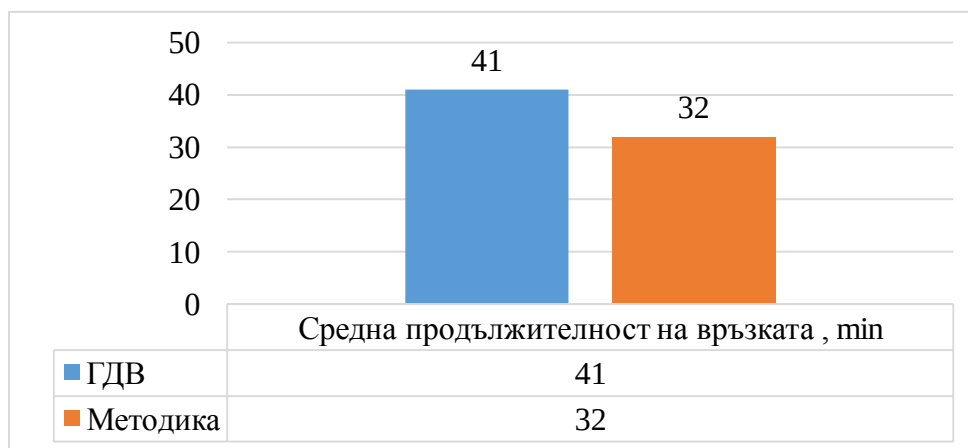
Резултатите от табл.5.03 показват следното:

- Минимална стойност на целевата функция има вариант 1, но получените стойности на минутите на заминаване за вариант 1 са неудобни за запомняне и възприемане от пътниците;
- Вариантите имат близки стойности на целевата функция
- Въпреки, че имат различни стойности на целевата функция, Вариант 1, вариант 2 и вариант 4 имат еднаква средна продължителност на връзката.
- Оптималният вариант се избира по критерий минимална средна продължителност. От трите варианта, които имат еднаква минимална средна продължителност на връзката, вариант 2 е с най-удобни (за запомняне и възприемане) за пътниците минути за заминаване и затова този вариант е избран за оптимален.

На фиг.5.03. и на фиг.5.04. е показано сравнение на средния брой на връзките и на средната продължителност на връзката за оптималния вариант и по съществуващото положение. Оптимизирани връзки за Централна гара София позволяват броят на връзките да се увеличи с 10, което е 35%. Средната продължителност намалява с 9 минути, което е 22%.



Фиг.5.03. Среден брой връзки на бързи влакове в жп мрежата



Фиг.5.04. Средна продължителност на връзката в Жп мрежата(бързи влакове)

V.5. Изводи

1. Усъвършенствана е методиката за оптимизация на взаимодействието на връзките между влаковете във възелните гари, разработена в [27], със следните нови постановки:
 - В ограничителните условия е отчетено средното закъснение на бързите влакове, (формула 5.02);
 - Определена е минималната стойност на продължителността на трансферната връзка, като е отчетено средното закъснение на бързите влакове, формула (5.03), което е определено в Глава IV.
2. Методиката е приложена за Централна гара София, като е оптимизирано взаимодействието на бързите влакове между жп направленията.

3. В резултат на прилагане на усъвършенстваната методика е увеличен броят на връзките между бързите влакове в Централна гара София с 35%, и е намалена средната продължителност на връзката с 22%, спрямо съществуващата организация.
4. За изследваните жп направления изменението на броя на връзките е както следва:
- между направления Пловдив – София и София – Перник броят нараства с 2 бр. (66%), а между направления Пловдив – София и София – Мездра се запазват.
 - между направления Перник – София и София – Пловдив нарастват с 4 бр., между направления Перник – София и София – Мездра нарастват също с 4 бр., а за направление София – Карлово се въвеждат 2 бр. връзки.
 - между направления Мездра – София и София – Пловдив намаляват с 1 бр., между направления Мездра – София и София – Перник се увеличават с 1бр., с направление София – Карлово намаляват с 1 бр.
 - между направления Карлово – София и София – Перник се запазват, между направления Карлово – София и София – Мездра намаляват с 5 бр.
5. За изследваните жп направления изменението на средната продължителност на връзката, спрямо съществуващата организация на превозите е както следва:
- между направления Пловдив – София и София – Перник намалява с 19 минути, което е 39%, а между направления Пловдив – София и София – Мездра намалява с 16 минути, което е 35%.
 - между направления Перник – София и София – Пловдив намалява с 7 минути, което е 19%; между направления Перник – София и София – Мездра намалява с 2 минути, което е 6,3%; между направления Перник – София и София-Карлово се въвеждат връзки с продължителност 38 минути.
 - между направления Мездра – София и София – Пловдив намалява с 7 минути, което е 19%; между направления Мездра – София и София – Перник намалява с 5 минути, което е 17%; между направления Мездра – София и София-Карлово продължителността на връзката намалява с 4 минути, което е 10%.
 - между направления Карлово – София и София – Перник се увеличава със 7 минути, което е 22%; между направления Карлово – София и София – Мездра намалява с 5 минути, което е 5%.
6. Разработени са синхронизирани разписания на бързите влакове за Централна гара София. Предложените разписания са по тактов ГДВ, при който се реализират връзки с еднаква оптимизирана продължителност. Връзките могат да се реализират и при неритмичен ГДВ, един или повече пъти в денонощието, като се запазят получените оптимални решения за минутите на заминаване (пристигане) в Централна гара София, или чрез промяна на тези стойности с предварително избран интервал.
7. Усъвършенстваната методика може да се прилага и за оптимизиране на взаимодействието между различни категории пътнически влакове във възелните гари.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

II.1. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Общ научно-приложен принос на дисертационния труд е представената комплексна методика за моделиране на бързите превози в жп мрежа. Основните елементи на комплексната методика са разработени в глави 2,3,4 и 5 на дисертационния труд.

Комплексната методика съдържа следните основни елементи:

- Разработване на вариантни схеми за превоз;
- Дефиниране на показатели за оценка на вариантите схеми;
- Определяне на броя и назначенията на категориите бързи влакове за всяка вариантна схема по критерий минимум преки експлоатационни разходи;
- Определяне на тежестите на показателите по метода на многокритериалния анализ АНР;
- Избор на оптимална схема за превоз, по критерий минимум на отношението на нормализираните преки експлоатационни разходи към оценките на показателите, определени по

метода на многокритериалния анализ АНР;

- Усъвършенствана методика за оптимизиране на взаимодействие на бързите влакове във възелните гари.

Всички тези елементи на комплексната методика са свързани и взаимно зависими.

2. Въведени са показатели за оценка на схемите за превоз с бързите влакове, т.ІІІ.2.1., гл.3.

3. Установени са законите за разпределение на продължителността на закъснението на бързите влакове в жп мрежа по причини, свързани с реализиране на превозния процес, гл.4.

4. Усъвършенствана е методиката за оптимизация на взаимодействието на бързите влакове, разработена в [27], като в минималната стойност на продължителността на връзката е отчетена продължителността на средното закъснение на бързите влакове в крайна гара по причина нарушение на връзките между влаковете, определена в гл. 4.

ІІ.2. ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Комплексната методика за моделиране на бързите превози е приложена за железопътната мрежа на Република България.

2. Анализирани са основни направления от жп мрежа и са предложени директен бързи влакове с намалени спирания за направленията София – Пловдив – Бургас и София – Г.Оряховица – Варна, т.ІІ.4.1., гл.2. Определена е оптимална маршрутна схема и броя на категориите бързи влакове за всеки маршрут за ежедневно движение. Изследвано и влиянието на изменението на пътничопотоците върху избора на оптимална вариантна схема, гл.3.

3. За Централна жп гара София е оптимизирано взаимодействието на бързите влакове, в резултат на което е увеличен броят на връзките с 10 бр. (35%). Средната продължителност на връзката намалява от 43 min по ГДВ на 32 min, което е 22%, (т. V.4, гл.5.).

4. Разработени са синхронизирани разписания на бързите влакове за Централна гара София, (т. V.4, гл.5).

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Николова, Р. Изследване на пътничопотоците по основните направления в железопътната мрежа. Сборник доклади от 21 научно-техническа конференция с международно участие ЕКО-Варна, ТУ-Варна, стр. 162-172, 2015.
2. 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 – BULTRANS - 2015. Technical University of Sofia, 2015, pp.190-197, 2015.
3. Николова, Р. Изследване на пътничопотоците по основните направления в железопътната мрежа. Сборник доклади от 22 научно-техническа конференция с международно участие ЕКО-Варна, ТУ-Варна, стр.38-45, 2016.
4. Николова, Р., Стоилова, С. Изследване на изпълнението на графика за движение на бързите влакове в железопътната мрежа. Сборник доклади от Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии Бултранс-2016, ТУ-София, стр.191-196, 2016.

УЧАСТИЕ В НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТИ

Научноизследователски проект в помощ на докторанти № 152ПД0040-04 при НИС – ТУ София, 2015/2016 г. „МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА БЪРЗИ И ЕКСПРЕСНИ ПЪТНИЧЕСКИ ПРЕВОЗИ ПО ОСНОВНИ НАПРАВЛЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА МРЕЖА“.

SUMMARY

Dissertation Title: Research and modeling of fast rail passenger transport network

Author: Eng. Radina Nikolova

Inside the following dissertation work there has been developed a Comprehensive Methodology for modeling fast rail passenger transport network, which includes: linear optimization model for selecting optional scheme of train services and determining the number and categories of fast trains appointments on the criterion of minimum direct operating costs; elaboration of optional transport schemes; defining of indicators for evaluation of optional schemes; determining the relevance of indicators using the method of multicriteria analysis AHP; normalized cost-assess of variant schemes methodology for selection of optimal transport scheme wherein costs are determined by the linear optimization model and assess are determined by the method of multicriteria analysis AHP using the defined indicators for evaluation.

Expedience study criteria for direct fast trains services with fewer stops have been introduced. Fast trains delays have been studied and Law on the duration of delay in final station has been set. By considering the average delay in final station when making a connection, the methodology for optimized interaction of fast trains in connecting stations has been improved.

The Comprehensive Methodology for modeling fast rail transport has been applied to the railway network of the Republic of Bulgaria. An optimal route scheme and the number of fast train categories on each route for daily traffic have been fixed. The impact of variation in passenger flows over the selection of optimal optional scheme has also been studied.

The Comprehensive Methodology for selecting optimal organization of intercity rail passenger transport may be equally applied to the entire railway network or to a separate rail polygon. The methodology can also be used to determine the organization of other passenger train categories, such as suburban trains or international passenger trains.