



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**  
**ФАКУЛТЕТ ПО ТРАНСПОРТА**

---

Катедра ”Двигатели, автомобилна техника и транспорт”

маг. инж. Дурхан Назъмов Салиев

**МОДЕЛИРАНЕ НА ПЪТНОТРАНСПОРТНОТО ДВИЖЕНИЕ ПРИ**  
**НАСТЪПВАНЕ НА АВАРИЙНИ СИТУАЦИИ**

**ДИ С Е Р Т А Ц И Я**

за придобиване на образователна и научна степен

„Доктор”

Област на висше образование: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.5. Транспорт, корабоплаване и авиация

Научна специалност: Управление и организация на автомобилния транспорт

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Емил Младенов Маджарски

София, 2012 г.

# СЪДЪРЖАНИЕ

Увод.....	3
<b>Глава 1. Състояние на научните изследвания и цел на работата.....</b>	<b>6</b>
1.1 Основни показатели на пътнотранспортното движение.....	6
1.2 Методи за изследване на показателите на пътнотранспортното движение.....	13
1.3 Моделиране на пътнотранспортното движение.....	15
1.4 Определяне на времената при светлинно-регулирани кръстовища..	25
1.5 Цел и задачи на дисертационният труд.....	30
<b>Глава 2. Избор и изследване на основни показатели на пътнотранспортното движение в зоната на кръстовища. Критерий за оптималност на светлинно-сигналното регулиране.....</b>	<b>31</b>
2.1 Избор и изследване на показателите на пътнотранспортното движение.....	31
2.2 Избор на критерий за оптимално пропускане на пътнотранспортното движение през светлинно-регулирани кръстовища.....	36
2.3 Определяне на времето за чакане на поток и минимума на времето за чакане на всички потоци на кръстовището.....	38
2.3.1 Време за чакане на поток при опашка по-голяма или равна на максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба.....	39
2.3.2 Време за чакане на поток при опашка по-малка от максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба.....	41
2.3.3 Време за чакане на поток при пропускане на движението през кръстовището в две фази.....	47

<b>Глава 3. Алгоритми за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светлинно-регулирани кръстовища.....</b>	<b>50</b>
3.1 Разработване на алгоритъм за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище.....	50
3.2 Разработване на алгоритъм за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази.....	57
<b>Глава 4. Експериментална проверка и доказване на моделиращите алгоритми.....</b>	<b>61</b>
4.1 Експериментална проверка на алгоритъма за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище.....	61
4.2 Експериментална проверка на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази.....	76
<b>Заклучение.....</b>	<b>100</b>
<b>Приноси по дисертацията.....</b>	<b>101</b>
<b>Използвана литература.....</b>	<b>103</b>
<b>Списък на публикациите по дисертацията.....</b>	<b>112</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>113</b>
Приложение I.....	114
Приложение II (диск)	
Приложение III.....	135
Приложение IV (диск)	
Приложение V.....	161
Приложение VI.....	168
<b>Декларация за оригиналност.....</b>	<b>189</b>

## УВОД

Нарастването на автомобилния парк и създадените от него транспортни потоци изпреварва развитието на мрежата от улици и пътища, което създава множество проблеми от икономически и екологичен характер, а в не малка степен и проблеми с безопасността на движението. Това поражда аварийни ситуации свързани със задръствания, увеличен престой на автомобилите в зоната на кръстовищата и нарастване на времето за пътуване. В отделни случаи настъпването на пътнотранспортни произшествия, ремонтни работи по пътното платно и други довеждат също до задръствания, които блокират движението.

Решаването на тези проблеми и осигуряване на бързо, ефективно и безопасно доставяне на товарите и пътниците се извършва чрез подобряване на пътната мрежа и на технико-икономическите показатели на автомобилите, чрез ефективна организация на пътното движение и други.

Подобряването и усъвършенстването на пътната мрежа се постига по два начина: с преустройство на старата и чрез строителство на нова пътна мрежа.

При новото строителство се създават съвременни пътища и комуникации, с което се повишава безопасността на движение, но изграждането им е скъпо и в отделни случаи провокира увеличаване на трафика. При съществуваща пътна мрежа в някои случаи е невъзможна реконструкция и се търсят други решения свързани с промени за подобряване организацията на движението.

Подобрените технико-икономическите и екологични параметри на автомобилите води до икономия на гориво, повишаване на безопасността на пътниците и товарите, намаляване на вредните емисии отделяни от автомобилния транспорт, но не премахват задръстванията, увеличеното време за пътуване и други.

Един от възможните пътища за решаване на проблемите породени от автомобилизацията е създаване на нова организация на движението. В някои случаи това е единственото възможно решение в зони на градовете с гъсто застрояване.

Техническите аспекти свързани с организацията на автомобилното движение в градовете се състоят в откриване и намаляване на опасните пътни

условия и задръстванията, разделяне на транспортните потоци в пространството и времето, използване на технически средства за регулиране на движението. Неделима част от тази организация на движението е осигуряване на условия за удобно и безопасно придвижване на пешеходците.

Вземането на решения по който и да е аспект на организацията на движението в градовете се основава на подробна, а в някои случаи и непрекъсната информация за параметрите на транспортните потоци. Методите за определяне на тези параметри са неавтоматични – чрез наблюдатели и автоматични – чрез използването на транспортни детектори или видеокамери. Техническите средства за непрекъснато определяне на параметрите на транспортните потоци позволява регулиране на движението чрез автоматизирани системи. В отделни случаи тези системи разделят транспортните потоци и по състав, с което се дава приоритет при движение на автомобили от обществения транспорт. Тези автоматизирани системи позволяват адаптиране на времевите сигнали и продължителности на циклите на светофарните уредби в съответствие с транспортните потоци в реално време. Те имат възможност да променят съдържанието на пътните знаци, да определят задръстванията от повишен трафик или аварийна ситуация, както и да предлагат маршрути за движение.

Автоматизираното управление на движението в градовете е сложна система, състояща се от подсистеми за светлинно-сигнално регулиране, за управление на видовете транспорт, видеоконтрол на трафика и подсистема за оперативен контрол. Съставна част на подсистемите са техните елементи, които не могат да бъдат декомпозирани.

Изграждането на автоматизирани системи за управление на движението в градовете се извършва поетапно, като обикновено първо се разработва системата за светлинно-сигнално регулиране. Тя е динамична система за вземане на решения на базата на изчислителни модели, които са съвкупност от математически модели за отделни елементи – регулирани и нерегулирани кръстовища, отсечки от пътя, отклонения, сливания и други. Основен елемент

на системата за светлинно-сигнално регулиране е управлението на светофарните уредби на отделните кръстовища.

В градовете на РБългария светофарните уредби на кръстовищата работят с твърд режим за продължителност на цикъла и фазите независимо от параметрите на транспортните потоци. Това предизвиква както задръствания и аварийни ситуации, а така също и неизползване на пропускателната способност на кръстовището. В тези случаи имаме увеличаване престоя на автомобилите и загуба на време при чакане на хората, увеличаване разхода на гориво и количеството на отделяните вредни емисии в атмосферата.

В отделни случаи за регулиране на движението в пиковите периоди на денонощието се използва ръчно управление на светофарните уредби на възлови кръстовища в големите градове на страната. Това ангажира необосновано служителите на компетентните органи за осъществяване на дейност, която може да се автоматизира при наличие на необходимите технически средства и програмни продукти за това.

За подобряване на условията при преминаване през кръстовищата и като елемент на подсистемата за светлинно-сигнално регулиране е необходимо да се търсят подходи и критерии за адаптивно управление на светофарните уредби. Това е особено характерно за гр. София, където се движат около 600 хиляди автомобили със средна скорост на движение между 10 и 18 км/час.

От казаното до тук се обосновава изборът на обект и предмет на изследване:

- обект на изследване е подсистемата за светлинно-сигнално регулиране и в частност елементът – управление на светлинно-регулirани кръстовища в гр. София;

- предмет на изследване са процесите на пристигане, престой и преминаване на автомобили през регулирани със светлинна сигнализация кръстовища.

## ГЛАВА 1

### СЪСТОЯНИЕ НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ЦЕЛ НА РАБОТАТА

Науката за пътнотранспортното движение се занимава със законите за изменение на движението, принципите за неговото планиране, организация и управление. По тези въпроси са посветени работите на В. Ф. Бабков, Д. С. Самойлов, А.А. Гаврилов, В. А. Юдин, Т. Й. Тодоров, Г. И. Клинковщейн, В. Т. Капитанов, Е. В. Хилажев, М. П. Печерский, В. Г. Хорович, Ю. А. Кременец, И. Златанов, М. Вол, Б. Мартин, Д. Дрю, В. В. Сильянов, Ф. Хейт, Н. О. Брайловски, О. А. Навиков, Ц. Станоев, В. Слепых, В. А. Пустовалов, Д. Саги, Г. Гринберг, Д. Л. Герлоу, А. А. Павлович, Д. Гибсон, Б. Кернер, Р. Хаберман, В. Хоуел, Ф. В. Вебстер и много други.

Движението е сложен и динамичен процес и се изследва като такъв. Изразен със средствата на математиката движението е функция на четири променливи: координатите в пространството ( $x, y, z$ ) и времето ( $t$ ).

При изследване на пътнотранспортното движение се използват методите на математическата статистика, теорията на вероятностите, теорията на транспортните потоци, теорията на масовото обслужване, методите на математическото моделиране и други.

Организацията и управлението на движението способстват, чрез технически средства като маркировка, пътни знаци, светофарни уредби, автоматизирани системи за управление и други, параметрите на пътнотранспортното движение да съответстват на параметрите на пътната мрежа.

#### 1.1 Основни показатели на пътнотранспортното движение

При определяне на показателите на пътнотранспортното движение различните автори [2, 4, 5, 8, 9, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 38, 46, 47, 63, 75, 76, 100, 109, 111 и други] подхождат от различни гледни точки в зависимост от поставените цели. Движението по пътищата се изразява като съвкупност от:

- транспортни потоци;
- пешеходни потоци;
- пропускателна способност;
- конфликтни точки и задръжки;
- пътнотранспортни произшествия.

При планиране, организация и управление на движението се търсят оптимални решения, удовлетворяващи изискванията на транспортните и пешеходни потоци, пропускателната способност и задръжките на кръстовищата.

Авторите в [4, 9, 12, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 46, 47, 63, 100, 109] определят интензивността, състава, скоростта и плътността като основни показатели на транспортните потоци.

В [2, 8, 9, 18, 21, 22, 23, 46, 47, 63, 100 и други] интензивността се разглежда като брой транспортни средства, които преминават през дадено сечение от пътя за единица време (час, денонощие, седмица, месец, година). Уточнява се, че тя може да бъде измерена за дадена пътна лента, пътна посока или направление [21, 22 и 23] и за по-кратък интервал от време (минута, секунда) в зависимост от поставените цели [12, 19].

Авторите [8, 9, 12, 17, 18, 19, 21, 22, 23] отбелязват важноста на проявяващата се неравномерност на интензивността на транспортния поток и по аналогия се говори за часова, дневна, седмична, месечна и годишна интензивност.

В [9, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 75, 111] се отбелязва значението на състава на транспортния поток като една от основните негови характеристики. Той е отражение на процентното съдържание на различните видове транспортни средства в потока и оказва влияние върху режима и безопасността на движението, върху натоварването, скоростта на движение, различните видове маневри, видимостта и други. Също така оказва влияние при решаване на въпросите по планирането, организацията и управлението на движението, при определяне на пропускателната способност на уличната мрежа, очакваната



интензивност на движение, продължителността на цикъла на светофарните уредби и други.

Авторите в [9, 17, 18, 21, 22, 23, 75, 76, 111] използват т. нар. „приведена интензивност на движение”, която се получава като всички превозни средства се приведат към приета условна единица (Е) – лек автомобил. За целта се използват приводни коефициенти, за които авторите дават различни стойности. В нашата страна тези коефициенти са указани в Наредба № 2 от 29 юни 2004 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии (Обн., ДВ, бр. 86 от 2004 г.; попр., бр. 93 от 2004 г.) [14].

Скоростта се определя от някои автори [9, 19] като основен показател на транспортния процес, оказваща голямо влияние върху транспортния поток и характеризираща неговата функция.

Различните автори използват скорости на движение на транспортния поток като: моментна [9, 12, 23], обща [9], средно-пространствена [4, 19, 23], средно-времева [4, 19, 23], съобщителна [12], темп на движение [4, 12, 19 и 100]. Подробно се разяснява смисълът, който се влага в отделните понятия и начина за тяхното определяне и използване.

В [9, 12, 21] се посочват по-важните фактори, от които според авторите зависи скоростта, а именно: подготовката и умението на водача, пътните и метеорологични условия, съвършенството и техническото състояние на автотранспортните средства и други.

Плътноста на транспортния поток се определя като пространствена характеристика измерваща се в брой автомобили намиращи се на единица дължина от пътя (обикновено 1км) [4, 9, 12, 19, 21, 22, 23, 47, 63, 100].

Според плътността движението на транспортния поток може да се раздели на: свободно движение [12, 13, 109], частично свързано движение [12, 13], наситено движение [12, 13], колонно движение [11, 13], пренаситено движение [11, 13] и задръстено [109], като Хаберман [47] уточнява, че плътността се определя за всяка лента.

Станоев [20] посочва необходимостта от усъвършенстване на дефинициите за интензивност и плътност, като уточнява, че те са валидни при идеализирано разглеждане на транспортния поток. В тази връзка той цели да покаже неточността на зависимостта между отделните параметри на транспортните потоци, известна като LWR модел, представена в [106] и онаглеждава графично зависимостта между основните показатели на транспортния поток във вид на хиперболичен параболоид, като изказва мнение за неточността на досегашните графични представяния на тази зависимост.

Авторите в [8, 9, 13, 31, 47, 63, 100, 109] представят същата зависимост между показателите на транспортните потоци [106] и я посочват като основна. Разглеждат се и зависимостите между скорост-плътност [47] и интензивност-скорост [19, 21 и 22]. От своя страна Гартнер в [100] нарича всяка зависимост между отделните показатели „модел”. Това показва значимостта на изведената зависимост представена в [106], която се утвърждава като основна в теорията на транспортните потоци.

Освен посочените показатели на транспортните потоци някои автори определят и други като време за движение [4, 19], интервали между автомобилите (пространствени и времеви) [4, 8, 21, 22, 23, 38, 46, 109], задръжки [8, 10, 12, 19, 21, 22, 23], разстояние [4, 88, 109], дистанция [8, 19, 109] и други.

Показателите на пешеходните потоци не се различават от тези определени за транспортните потоци, а именно: интензивност, скорост, плътност. Съществува и характеристика „състав”, но тя се използва единствено за определяне на средната скорост на преминаване на пешеходния поток през дадено съоръжение от пътя и включва разделянето на потока по пол и възраст [9, 12, 17, 18].

В [4, 9, 12, 18, 19, 21, 22, 23, 35, 37, 75, 76, 100, 109, 111] се срещат различни мнения относно понятието пропускателна способност или наричана още поток на насищане и максимална интензивност. Общо то е дефинирано [4, 8, 9, 12, 18, 19, 21, 22, 23] като максимален брой превозни средства, които могат да преминат през дадено сечение от пътя за единица време (авт./ч). Някои

автори допълват, че при това трябва да се спази зададена скорост и безопасност на движението [11, 12] и плътността да не бъде толкова голяма, че да предизвика ненужно задръжки, хазартност в движението или ограничение на водачите да маневрират при средни пътни условия, състав и характер на транспортните потоци [21, 22, 37].

Авторите в [4, 9, 11, 12, 18, 21, 22, 23] определят основно два вида пропускателна способност – теоретична (разчетна) и действителна (реална). Посочват се [4, 9, 12, 18, 21, 22, 23, 75, 76, 109] различни методи и формули за определяне на теоретичната пропускателна способност [9, 12, 18, 21, 22, 23], пропускателната способност при безконфликтно движение (улици I<sup>вн</sup> клас и автомагистрали) [9, 12, 18, 21, 22, 23], пропускателната способност на улици с конфликтно движение – нерегулирани кръстовища [4], регулирани кръстовища с пътни знаци [4, 12, 23], регулирани кръстовища със светофарна уредба [4, 9, 12, 18, 23] както и пропускателна способност при кръгово движение [18, 23].

Действителната пропускателна способност се определя въз основа на наблюдения. Обективното ѝ определяне зависи от обосноваността на методиката, точността на проведените изследвания и обработката на резултатите.

Авторите в [4, 8, 9] определят следните основни фактори влияещи върху пропускателната способност: план на трасето (хоризонтален и вертикален), ширина и брой на лентите за движение, едностранно или двустранно е движението, наличие на препятствия на пътя, характер на използваните крайни десни ленти за движение (паркирани автомобили, автобусни спирки и т. н.), състав на транспортните потоци, метеорологичните условия, видимостта, подготовката на водачите, тяхното психофизиологично състояние и други.

В някои литературни източници [9, 12, 18] се говори за пропускателна способност на пешеходните пътища (тротоарите). Тя се определя като максималния брой пешеходци, които могат да преминат през дадено сечение на тротоара за определен период от време, при определени удобства и безопасност на движението, и зависи от броя на тротоарите и тяхната ширина, интензивността на пешеходния поток, неговата скорост и плътност.

Пропускателната способност на дадена част от мрежата, за транспортно или пешеходно движение, се определя в най-стеснения участък от тази част [12].

Конфликтните точки и задръжките се разглеждат като изключително важен елемент на пътнотранспортното движение [4, 9, 12, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 93].

Понятието „конфликтни точки” е дефинирано като точки, които възпрепятстват пътното движение и са източник на произшествия и задръжки на движението [9].

За намаляване конфликтността Самойлов [17, 18] предлага метод свързан с организацията на движението, като дадения пример е с организиране на еднопосочно движение, при което конфликтните точки намаляват значително.

Клинковщейн [12] определя едно друго разбиране за задръжки на транспортния поток като подчертава, че това не са само задръжките в случаите на спрели автомобили на входовете на кръстовищата, пред железопътните прелези и т. н., но и задръжките свързани с движението с по-ниски скорости от разрешените за дадения участък от пътя.

Продължителността на задръжките на нерегулирано кръстовище зависи от конфигурацията на кръстовището и характеристиките на транспортния поток към всеки от подходите на кръстовището. За кръстовища регулирани с пътни знаци потокът, на който е даден приоритет, преминава без спиране, т. е. няма задръжки. Продължителността на задръжките при второстепенния зависят изключително от интервала между автомобилите от основния поток. При въвеждане на регулиране със светофарна уредба се явяват задръжки и при двата потока, което показва, че с този метод не винаги се намалява общата задръжка на кръстовището. Предимството на светофарното регулиране в този случай е повишеното ниво на безопасност [4].

Някои автори [5, 8, 10, 13, 25, 37, 70, 93, 107] предлагат варианти за определяне стойността на транспортните задръжки като повечето от тях са за светлинно регулирани кръстовища. Представената в [8, 13] формула за определяне на сумарната задръжка се основава на Теорията на масовото

обслужване, което поставя под въпрос използването ѝ в съвременните условия на движение.

Вебстер [93] предлага формула за изчисляване на времето за чакане, което се използва от някои автори след това [64, 75]. В [70 и 107] времето за чакане се определя във функция от същите елементи представени в [93]. Основният недостатък на тези формули е, че не отчитат общата задръжка на автомобилите в опашка. Освен това предлаганият метод в [93] се основава на пристигане на автомобилите по Поасонов закон на разпределение, което ограничава използването му в градски условия. Същото се отнася и до методите заложиени в [3].

Някои от предлаганите методи не са приложими при съвременните условия на движение поради невъзможността да отчитат престоя на автомобилите за няколко цикъла [5]. Неточно е да се твърди, че средната задръжка на транспортния поток е еднаква във времето и не зависи от продължителността на цикъла [19].

Варианти на изчисления за времето за чакане се предлагат и в [12, 37, 46, 47, 56] обосновани на скоростта на движение на превозните средства, индивидуалното време за чакане на всеки автомобил или общото време за цялата опашка от автомобили. В някои от разгледаните варианти на изчисления се приема, че автомобилите пристигат равномерно [46] и интензивността е константа [56], което довежда до грешки при определяне на реалното време за чакане на автомобилите.

Задръжките оказват влияние при оптимизирането на програмите за автоматично регулиране на движението и за доказване на икономическия ефект от въвеждането на система за автоматично му регулиране. Те зависят от времетраенето на цикъла и различните съотношения на интензивността на транспортните потоци [12, 23]. Тяхното определяне може да се извърши с помощта на индуктивни детектори или посредством директно наблюдение и измерване [23].

От изложеноето до тук се установява, че се предлагат и използват голям набор от показатели на пътнотранспортното движение, определяни по различни методи, формули и приемания.

## 1.2 Методи за изследване на показателите на пътнотранспортното движение

Определят се основно два метода за изследване: ръчно и автоматизирано. Ръчното преброяване се извършва от наблюдател, а автоматичното от детектори в избрани точки от уличната мрежа [2, 8, 9, 17, 18, 19, 21, 22]. Някои от авторите [2, 9, 17, 18, 19, 39, 45] въвеждат и друг метод – заснемането с камери. По този начин могат да се преброяват автомобилите и същевременно с това да се отчете и техния състав. Освен това така могат да се определят скоростта на движение, интервалите между автомобилите (пространствени и времеви), дължината на опашката, задръжките, както и опасни ситуации и пътнотранспортни произшествия. Гибсън [45] от своя страна описва начините за вграждане на видеокамерите и необходимите съоръжения за постигане на поставените цели.

В [102] се предлага алтернатива на видеозаснемането с използване на безжична връзка между пристигащите автомобили и контролера на светофарната уредба. С получаването на данни от автомобилите се определя техният брой и с помощта на определената от Вебстер [93] формула се изчислява времето за цикъл на светофарната уредба съобразно параметрите на реалният транспортен поток на кръстовището.

Видовете транспортни детектори, начинът на вграждане, тяхната работа, необходимата инфраструктура са описани подробно в [46, 54 и 57]. Авторите представят и методите за отчитане на параметрите на транспортните потоци, както и начините за събиране на необходимата ни информация.

В [13, 35, 55, 58] се описват практическото приложение на детекторите за определяне на входни данни при използването на адаптивни сигнали, автоматизирани системи за управление като координирани светофарни уредби, променливи знакови съобщения и други.

Метод чрез записване на регистрационните номера на автомобилите и съответно обозначение за вида им от няколко пункта на наблюдение в даден район се предлага от [12, 17 и 18]. По този начин се извършва едновременно преброяване на интензивността и състава на транспортния поток, както и направлението на автомобилите.

В [2, 8, 9, 19] се определят още два метода за изследване на показателите на пътнотранспортното движение: подвижен наблюдател и аеро-заснемане. Чрез тези методи могат да се определят стойностите на показатели като скорост, плътност, интензивност, задръжки.

Клинковщейн [12] и Златанов [9] от своя страна разделят методите за изследване на пътнотранспортното движение на три основни групи: документални, натурни и моделни.

- Документалните изследвания се основават на материалите, залежали в различните видове документи, които могат да бъдат разработени специално за конкретно изследване или предназначени за други цели.

- Натурните изследвания се извършват при конкретни условия в течение на определен период от време. Извършват се в две направления: изследване на пътните условия и изследване на показателите на самото движение.

- Моделните изследвания позволяват да се възпроизведе (моделира) пътнотранспортното движение. Това се осъществява по два начина: физичен и математичен.

Вол и Мартин в [4] освен физични и математически моделни изследвания определят и още един вид – аналогови изследвания. Те могат да бъдат успешно използвани в случаите, когато се имитират функции на елементи на системата, сходни до известна степен с елементи на друга физическа система, като при това не е задължително да има сходство между системите по външен вид и конструкция.

В [9] се отбелязва, че пътното движение може да се изследва и с помощта на спътниците. От тях може да се получи много богата и точна информация за движението на транспортните и пешеходните потоци в цели селища, области и райони.

Някои автори предлагат конкретни методи за определяне на интензивността на транспортните потоци, методически указания и различни варианти за провеждане на изследванията [6, 100] както и модели за броене на превозните средства [71].

Приложението на различните методи за изследване на показателите на пътнотранспортното движение, получените зависимости и количествени стойности са валидни за конкретни условия и тяхното механично пренасяне при организация на движението на други пътни възли и кръстовища може да доведе до неефективни решения.

### 1.3 Моделиране на пътнотранспортното движение

Моделирането на пътнотранспортното движение представлява моделиране на движението на транспортните потоци [2, 3, 4, 9, 12, 18, 19, 22, 23, 24, 30, 31, 34, 46, 47, 58, 90, 92, 100 и други] с цел постигане на ползи от различен характер като: повишаване на скоростта и безопасността на движение, намаляване на времето за пътуване, задръжките, разхода на гориво, отделяните вредни емисии от автомобилния транспорт и други.

Съществуват различни теории за описание на движението на транспортните потоци. Според [2, 4, 9, 12, 18, 19, 22, 23] те са следните: динамичен модел на транспортния поток, теория „следване зад лидера”, хидродинамичната теория и вероятностни модели.

- Динамичен модел на транспортния поток

Тази теория се основава на динамичния габаритен размер на превозното средство [2, 9, 12, 18, 19, 22, 23, 24]. Той представлява безопасно разстояние (дистанция) при движението на автотранспортното средство в колона. В него се включват спирачния път на автомобила, неговата дължина и безопасното разстояние между два спиращи автомобила.

При изчисляването на динамичния габаритен размер е прието, че движението е непрекъснато, което не винаги е така в практиката [9]. Освен това се предполага, че всички автомобили се движат с една и съща скорост [18, 19, 23].



- Теория „следване зад лидера”

Тази теория се основава на предпоставката, че съществува психологическа връзка между водачите, участници в движението. Приема се, че ускорението на движещия се отзад автомобил е пропорционално на разликата в скоростта на движещите се един след друг автомобили [2, 3, 4, 8, 12, 18, 19, 23, 47, 100]. Върху водачите оказват влияние различни обстоятелства, като това как водачът, за да спазва дистанцията, реагира на всяко ускорение и забавяне на автомобила пред него и същевременно с това отчита и обкръжаващата го обстановка в потока, своите възможности и т. н [4].

Недостатък на разгледаните две теории е това, че в тях не участва вероятностният характер на процеса на движение на транспортния поток [18].

- Хидродинамична теория

Според хидродинамичната теория [2, 3, 4, 8, 12, 19, 22, 23, 30, 31, 90, 100] между интензивността и плътността на автомобилния поток съществува зависимост, която може да се изрази с уравненията от хидравликата за непрекъснатото движение на течности. Тази теория се прилага за потоци с голяма плътност [4].

Според [19] разгледаните модели са в тясна връзка по между си. Теоретическите изследвания показват, че резултатът от решението на уравнението на теорията „следване зад лидера” е крайното уравнение на хидродинамичната теория.

Различните модели се класифицират като микроскопични, макроскопични и вероятностни (стохастични). Микроскопичните модели включват: динамичния модел на транспортния поток и теорията „следване зад лидера”, а макроскопичните - хидродинамичната теория [2, 12, 19].

В [100] се изтъкват и някои недостатъци на това движението на потока да се разглежда като движение на течност, а именно:

- връзката между скоростта и плътността е такава, че всяко изменение на скоростта трябва да доведе до мигновено изменение в плътността, което в реалните условия на движение не е така;

- възможна е поява на т. нар. ударна вълна, която да доведе до резки скокове на скоростта в края на интервала, при което за адаптиране към реалните условия на движение е необходимо да се въведат корекционни изчисления;

- всяко спиране и тръгване дава началото на образуване на вълна;

- достига се критична плътност без никаква очевидна причина и други.

- Вероятностни модели

Вероятностните модели [2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 100] дават възможност за проучване на случайните процеси на движението с помощта на теорията на вероятностите и математическата статистика. Те позволяват да се решат голям кръг от задачи като: оценка на ефективността на различни варианти на регулиране на движението и избор на най-ефективен, оценка на пропускателната способност в зоните на пресичане, преплитане и сливане на потока от автомобили, избор на оптимален режим на светофарно регулиране и други [2].

Оптималното управление на движението е свързано с наличието на данни за характера на разпределение на времевите интервали между превозните средства [12], от което зависи точността и достоверността на крайния резултат на изследването [19]. Според [4, 9, 12, 18, 21, 22] изучаването на интервалите в транспортния поток се осъществява с помощта на теорията на вероятностите и по-конкретно със закона на Пуасон, изискващ независимост между случайните събития, което в повечето случаи не е валидно при движение в градски условия.

Някои автори [3, 4, 5, 8, 12, 19] определят още един подход за оценка на характеристиките на движение на автомобилния поток. Той се основава на използването на теорията на масовото обслужване. Тази теория се използва при поток с голяма интензивност и особено в зоните на пресичане на транспортни потоци [12]. Чрез нея се установяват зависимости между характера на потока от събития, производителност на отделния канал на системата, броя на каналите и ефективност на обслужването. Тази теория също използва закона на Пуасон за разпределение на заявките за обслужване [3, 8, 19]. Като характеристики на обслужването се приемат различни величини: средно количество на заявките,

които могат да бъдат обслужени за единица време, средно време на чакане в опашка, закон на разпределение на времето за чакане, среден брой заявки и други [3, 8, 19].

Гаврилов в [5] разделя различните модели според четири класификационни признака, а именно: по функционален признак (математически, имитационни, информационни, ситуационни, лингвистически и физически), според метода на построение и способа за отчитане на времевите фактори (динамични и статични), според характера на проектиране на моделираните процеси (дискретни и непрекъснати) и характера на въздействие на външните фактори (детерминирани и стохастични). Авторът уточнява, че всеки един модел може да се класифицира по няколко признака. Подобно на [112] Гаврилов поставя цели на високо ниво, които трябва да се решат посредством използването на различните модели на движението. И този автор приема, че пристигането на автомобилите на кръстовището се подчинява на закона на Поасон. Приема, че общата задръжка (сумарното време за чакане на всички автомобили) на кръстовището може да се определи с помощта на теорията на масовото обслужване. Практически времето за чакане на автомобилите се формира от множество фактори, които авторът не е отчел. Относно изходната информация, която трябва да се получава при използването на модели на движението, той определя същите изложени в [112]. В [5] се обръща внимание и на Дифузионната теория на движение на автомобилите. Целта на дифузионните модели е да се определи минималния интервал между групите автомобили в отсечките между кръстовищата, като той се явява критерия за ефективно управление на транспортните потоци. Гаврилов предлага два метода за оптимизация на продължителността на фазите на светлинно-регулирани кръстовища. Единият се основава на детерминирани модели, а другият на модели за разпадане на група автомобили. За основа на моделирането се използва експоненциален закон на разпределение, което поставя под въпрос практическата приложимост на оптимизираните времена.

Специалистите в световен мащаб се насочват към математично моделиране на процеси свързани с движението на транспортните потоци. В

повечето случаи математичните модели се разработват така, че да бъдат основа на различни програмни продукти свързани с оптимизирането на движението при предварително зададен критерий.

Тодоров [21] определя като критерий за оптимална продължителност на цикъла и фазите на светофарната уредба, постигането на възможно най-висока пропускателна способност на кръстовището.

Авторите в [4, 13, 16, 24, 30, 34, 58, 92, 100, 112] поставят редица въпроси относно това, че вземането на дадено решение свързано с организацията и управлението на движението в градовете трябва да постига редица ползи от различен характер. Подчертава се, че симулационните модели трябва да имат възможност да дават резултати за различни аспекти при моделиране на промени свързани с подобряване на движението и регулиране на трафика. Определят се показатели за оценка като: задръжки на превозните средства на кръстовищата, задръжки на пешеходците при пресичане на пътя, време и цена на пътуванията, изменение на времената за пътуване, разходи за използване на различен вид транспортно обслужване, нива на замърсителите отделяни при работа на двигателите, ниво на шума, намаляване на произшествията и други. Някои автори [4, 24, 58] подчертават, че критерият „безопасност” е най-важен и трябва да бъде основа за всяка оптимизация.

Бабков в [2] поставя критерий за избор на метод за организация на движението, който има общ характер и съдържа в себе си намаляване на аварийността и подобряване условията на движение. След това авторът уточнява, че това е повишаване на пропускателната способност и намаляване нивото на натоварване на отделните участъци от пътната мрежа.

Кернер в [55] определя като критерий за оптимизация при внедряване на мероприятия за подобряване организацията на движението повишаване на скоростта на превозните средства. Конкретизира се, че става въпрос за движение на наситен транспортен поток особено в зоните на стеснения на пътя.

Редица автори [8, 9, 40, 48, 91, 100] обръщат специално внимание на човешкия фактор за безопасност на движението. В [100] се разглежда системата „Водач-Път-Автомобил”, която се засяга и от Златанов в [9]. Авторите

разглеждат подробно влиянието на времето за реакция върху различните ситуации, при различна скорост на движение. В [100] се дават и конкретни стойности на отстоянията на съоръженията (светофарни уредби, пътни знаци и други) и времена за смяната на съответни сигнали в зависимост от скоростта на движение и времето за реакция на водачите. В [48] авторите представят обширно изследване за това как влияе поведението на младите водачи върху безопасността на движение в зависимост от месторождението им (страната) и социално икономическия им статус. Подобно изследване е обект и на авторите в [40] само от гледна точка на социално икономическия статус. Авторите в [91] от своя страна изказват мнение за това, че най-важно за безопасността на движение са възможностите на водача, което е подкрепено с необходимите изследвания.

Световната практика показва, че за организация и управление на движението се разработват и използват редица математични модели, които са насочени предимно към оптимизиране на движението на транспортните потоци в зоните на кръстовищата.

Авторите в [1, 6, 25, 51, 61, 77, 80, 83, 95, 99, 105, 114] разработват модели за оптимизация на кръстовища със светлинно – сигнално регулиране. Моделите включват съставяне на уравнения за ускорително движение на автомобилите в група, определяне потока на насищане, промяна на времената на фазите, определяне на дължината на опашката, време за пътуване, скорост на движение, синхронизация между сигналите на последователни кръстовища и други. Целта е да се постигне най-малко време за чакане на транспортните потоци. Използват се представените в [93] методи за определяне на времето за цикъл и чакане на автомобилите. Някои от моделите са ограничени във времето за цикъл, стъпка на промяна на времената на фазите и други [95], което не позволява използването им при всички условия на движение.

Иновативен начин за оценка на решения свързани с организацията на движението на отделни кръстовища или комплекс от кръстовища на проблемни райони в градовете се представя в [3, 19, 30, 32, 33, 34, 46, 60, 65, 69, 74, 81, 84, 92, 100, 104, 112]. Онагледени са възможностите на микросимулационни

модели на движението, които посредством разработени програмни продукти дават възможност за предварителна визуализация на последствията от едно или друго решение. Създаването на програмни продукти за моделиране на пътното движение е свързано с откриване на проблемите, които да бъдат моделирани и развиване на решенията за управление на трафика. Целите поставени на високо ниво са: икономическа ефективност, опазване на околната среда, безопасност, достъпност, социална цена, и приложимост на взетите решения. Като входни данни повечето програмни продукти за моделиране на движението ползват интензивност на транспортните потоци, скорост на движение, време за пътуване от отправна точка до определено предназначение, дължини на опашките и други. Изходната информация от моделите са новоопределените време за пътуване, дължина на опашките, скорост на движение както и редовност на градския транспорт, отделени вредни емисии, ниво на шум и други. В представените програмни продукти не ставя ясен математичния апарат за постигане на резултатите онагледени като изходни данни от моделите на пътнотранспортното движение.

В [26] се предлага алгоритъм за изпълнение от микросимулационните модели, който позволява управлението на трафика в реално време. Системата включва три изчислителни подхода, а именно: fuzzy logic (използван и в [28, 29, 59, 96, 108]), neural networks и genetic algorithms. Същите се използват и от авторите в [41]. Те описват структурата на работа на микросимулационните модели. Подобно на тях авторите в [25, 31, 36, 43] използват езика за моделиране „Petri net” приложен за различни типове кръстовища. Управлението на трафика в реално време е възможно и при моделите представени от Есер в [35] и от авторите в [53, 95, 80]. Тези модели са насочени към адаптивното светлинно сигнално регулиране на кръстовища.

Различни интерпретации на представения в [106] LWR модел са показани в [35, 50]. За някои се подчертава трудността при калибрирането с реални данни [35], а за други, че са алтернатива на основната зависимост при натоварено движение. Представя се и модел за движение по магистрала при достигане на

места с предпоставки за образуване на задръствания [35], които зависимости не се различават от тези в [106].

Авторите в [27] разглеждат моделирането на дискретни оптимизационни проблеми с помощта на смесени целочислени програми, непрекъснати методи, логика (т. нар. „хибридни методи”, които са представени и в [62]), комбинаторика (показана от Фаузи в [35]), евристични методи, линейно и динамично програмиране. Недостатък на представените модели е това, че се използва статична входна информация, без отчитане на стохастичния характер на някои процеси. При представяне на модела за оптимизиране на маршрутите се използва Теория на графите, която при реални условия на движение на превозните средства не винаги е приложима.

Кернер в [35] и авторите в [101, 117] поставят въпроса за възможностите на самоорганизация на транспортните потоци при движение по магистрала на проблемните участъци и светлинно-регулирано кръстовище като част от взаимосвързани такива. Подобно на тях в [53] се представя системата за самоорганизация, която изисква определени ресурси като симулатор (продукти за симулиране на определени решения), връзка с контролерите на светофарните уредби, монтирането на детектори за отчитане на определени параметри на транспортните потоци и други.

В [47, 50, 52, 55, 78, 86, 94] се представят различни модели на поведение на транспортните потоци – при светване на зелен сигнал на светофарната уредба, при светване на червен сигнал на светофарната уредба, при намаляване на инцидентите при светване на червен сигнал, движение на транспортните потоци при стеснени участъци от пътя, вливания и отливания, места с предпоставки за образуване на задръствания, изтегляне на натрупалата се опашка, модел за движение, които зависи единствено от избора на времето за тръгване от отправната точка, определяне на оптимална скорост на движение. Моделите изискват определена входна информация идентична с описаната в [112]. Множеството модели се разделят в три основни групи: предсказващи модели, симулационни модели и оптимизационни модели [78].

Кремер, Стакър и Унбехаум в [35] представят макроскопичен модел на транспортен поток с използването на т. нар. движещи се сегменти. Всяка клетка съдържа определен брой превозни средства, който остава постоянен. Връзките между всяка клетка са под формата на верига, която покрива целия регион. Подходът на авторите е свързан с използването на Хидродинамичната теория по отношение на движение на клетките. Определени са подходи за изчисляване на интензивността и скоростта при всяко преминаване на клетките през съответните участъци от веригата. Авторите подчертават, че моделът не е калибриран старателно. Подобен подход използват и авторите в [52, 97].

В [42] се предлага интересно решение за моделиране на трафика. В случая по кой път да тръгне мравката, за да достигне храната може успешно да се експонира при организацията на движението в градовете.

Блу и Адлер в [35] представят модел и експеримент на движение на пешеходните потоци. Наблягат на важноста им при организация на движението в градовете. Входните параметри застъпени в модела са: интензивност на пешеходния поток, пространство за всеки пешеходец, процентен състав на потока от гледна точка на скорост на движение и средна скорост на движение за всеки дял от потока. Освен това се вземат под внимание дължината на изминаваното разстояние и ширината на пешеходната пътека. Създадени са два модела – при преминаване в едната посока и при преминаване в двете посоки. И в двата случая не се отбелязва възможността за наличие на междинен остров, разделящ двете посоки на движение на превозните средства. При наличие на такъв съществуват възможности за вземане на различни решения свързани с пропускането на пешеходците през пътното платно. Подобно на Блу и Адлер в [35] Димитров в [7] разработва имитационен модел на регулиране на движението със светофар за пешеходци. Представено е движение на автомобилите само в една посока, като двупосочното движение е заложено като развитие на модела. Авторът пояснява, че не е извършено калибриране с реални данни. Освен това не става ясно кои са входните параметри на модела.



Дрю в [8] обобщава етапите при моделиране на движението на транспортните потоци:

- формулиране на задачата с познати термини и символи; въвеждане на необходимите ограничения;

- построяване на модела – формулиране на допусканията, избор на критерий за оптимизация, избор на работни процедури или правила за движение;

- построяване на блок-схеми – установяване на функционалните съотношения между елементите на моделираната система;

- определяне на входните параметри за моделиращата програма;

- подготовка на моделиращата програма;

- провеждане на експериментална проверка – включва планиране на експеримента с цел определяне броя на опитите и стойностите на използваните параметри както и доверителни граници за резултатите;

- оценка и проверка на моделираната система.

Разглежданите автори определят критерий за оптимизация при различните мероприятия по организация и управление на движението в градовете, а именно: минимизиране на сумарната стойност на пътуванията на населението при определено транспортно натоварване. От тук произтичат и критериите на по-ниско ниво като: минимизиране времето за пътуване (в частност задръжките на кръстовищата), минимизиране разходите за експлоатация на автомобила (конкретно разхода на гориво), минимизиране на влиянието върху околната среда, предизвикано от пътното движение и повишаване на пътната безопасност (намаляване на пътнотранспортните произшествия).

Най-прогресивни от разгледаните модели са тези, които позволяват работа в реално време. За практическото им приложение е важен използваният от тях критерий за оптимизация. Разработваните алгоритми за оптимизиране на продължителността на цикъла и фазите на светофарните уредби трябва да са приспособени да работят при непрекъснато подаване на информация за параметрите на входящите транспортни потоци към кръстовището. При това от

особенно важно значение е начално определената стойност на времената при светлинно-регулираните кръстовища.

#### 1.4 Определяне на времената при светлинно-регулирани кръстовища

Времената при светлинно-регулирани на кръстовища следва да се определят съобразно основните показатели на пътнотранспортното движение.

Вебстер в [93] представя формула за определяне на оптималната продължителност на цикъла на светофарната уредба:

$$T_{цo} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (1.1)$$

където  $T_{цo}$  е продължителността на цикъла;

$L$  - загубата от време за преминаване на автомобилите по време на основната фаза и междинното време;

$Y$  - сума на фазовите коефициенти.

Фазовите коефициенти се определят за всеки поток и са отношение на потока на насищане и реалната интензивност на движение. Авторът уточнява, че изчисляването на времето за цикъл по представената формула гарантира минимално време за чакане на превозните средства.

Времената за зелен сигнал се определят от Вебстер [93] като отношението на фазовия коефициент за съответното направление към сумата от фазовите коефициенти, умножено по времето за цикъл, намалено със сумата на междинните времена.

Множество автори [4, 5, 10, 13, 21, 23, 49, 58, 63, 73, 75, 100, 109] приемат метода за изчисляване на времето за цикъл съобразно [93]. Повечето от тях определят по същия начин и времената за зелен сигнал.

В [13] се представя метод за корекция продължителността на цикъла съобразно задръжките на кръстовището. Методът използва величина за средна задръжка на кръстовището, чието определяне не е представено.

В [4] изчисляват продължителността на зеления сигнал за всяка фаза като произведение на ефективното време за зелен сигнал за целия цикъл и отношението на интензивността на транспортния поток за отделната фаза към интензивността за целия цикъл.

Куунце в [58] представя точни стойности на максималното време за зелен сигнал при определена продължителност на цикъла. Тя се изчислява съобразно интензивността на транспортните потоци определена за една лента от пътното платно. Авторът предлага и формула за изчисляване на междинните времена и необходимото на пешеходците време за освобождаване на пътното платно.

Относно продължителността на цикъла авторът предлага алтернатива на формулата на Вебстер, заложена като вариант и от авторите в [46]. При изчисляването се взема предвид сумата на междинните времена, сумата на превозните средства за час от направленията с максимална интензивност, изискващи най-много време в последователни фази, референтната сума на интензивността на движение, която е произведение на съответен коефициент с фактор на района (централен или не) и фактора на час пик (отношение на интензивността за пиковия час разделен на четири пъти интензивността на най-натоварените 15 минути от този час).

Посочва се, че не е удачно използването на цикъл с продължителност по-малка от 60 секунди. Подобно на това твърдение в [15] се задават точни стойности на максималното време за цикъл на светофарните уредби според броя на фазите на преминаване на потоците. Това ограничава възможността за оптимално регулиране движението на транспортните потоци в съвременните условия.

В [19] се определя времето за цикъл на светофарна уредба като сума от времената за зелен, червен и жълт сигнал. Времето за зелен сигнал се определя като сбор на загубата на време за един цикъл и отношението на дължината на опашката към потока на насищане за съответния поток. Авторът не предлага метод за изчисление на червените сигнали. По този начин определянето на времето за цикъл остава неясно.

Хенри в [49] предлага времето за цикъл да се определя по два начина. Единият е представеният от Вебстер в [93], а другият е методът на Грийншелд. Вторият използва това, че автомобилите пристигат по Поасонов закон. Авторите уточняват, че този метод е малко приложим в градски условия и се отнася за транспортни потоци с максимална интензивност около 400 авт./час. Формулировката на метода на Грийншелд включва изчисляване на времето необходимо за изтегляне на опашката, което определя и продължителността на съответната фаза.

Авторите в [36] предлагат определяне на времето за цикъл за ненаситени транспортни потоци насочено към създаването на „зелена вълна” за кръстовища регулирани със светлинна сигнализация. Времето за цикъл се определя съобразно интензивността на движение и средната дължина от разстоянията между регулираните кръстовища. Методът на изчисления дава резултати за продължителността на цикъла за всяка светофарна уредба от разглежданите кръстовища, началото на всеки цикъл и съотношението между зелен и червен сигнал.

Авторите в [111 и 115] представят формула за определяне на времето за цикъл, която изисква стойности за броя на фазите, неизползваното време за преминаване на автомобили за всяка фаза (включва времето от светване на зелен сигнал до потеглянето на първия автомобил плюс времето от спиране на последния автомобил до светване на червен сигнал), интензивност на транспортните потоци (определя се като сума на интензивностите на по-натоварените потоци разделени на броя на лентите за всяка фаза), фактор на пиковия час (отношение на интензивността за един час от пиковия период към максималната интензивност на разглежданото сечение), отношение на измерената интензивност и капацитета (превозни средства за час на една лента от пътното платно) и интервал на преминаване на превозните средства през кръстовището.

Авторите в [87] предлагат точни стойности на времената на жълтия сигнал в зависимост от скоростта на превозните средства, които преминават. Уточнява се, че тези стойности са валидни при стойност за наклон на пътя от

0%. При по-високи стойности се предлага формула за определяне продължителността на жълтия сигнал. Такава се предлага и за определяне на продължителността на междинните времена. Авторите уточняват, че това е времето необходимо за преминаване на конфликтната зона на навлезлите в кръстовището автомобили преди навлизащите конфликтни потоци да я достигнат. Към изчисленото междинно време се прибавя и определеното време за жълт сигнал. Резултати от изчисленията показват, че получените стойности за междинни времена поставят под съмнение безопасното изтегляне на навлезлите в кръстовището автомобили.

В [82 и 53] се представят сходни формули за определяне на времената за жълт сигнал и междинните времена използвани в [87]. В основата на формулите е методът описан в [8]. Същият метод се използва и от Стейн в [113]. Авторите обаче не отразяват влиянието на наклона на пътя.

В [109] предлагат междинните времена да се изчисляват според представените в [82] формули, като уточнява, че е необходимо да се определи време за изчистване на кръстовището съобразно безопасната дистанция за спиране, ширината на кръстовището, скоростта и дължината на автомобила.

В [109] се представя и методика за изчисляване на минималното време за зелен сигнал към пешеходците съобразно дължината на пътя, който трябва да бъде изминат, скоростта на пешеходното движение, времето за реакция при светване на зелен сигнал. Авторите не отчитат площта необходима за всеки пешеходец. Дават и препоръка за това, че минималното време за зелен сигнал на превозните средства трябва да се съобрази с това на пешеходците.

Различните автори [53, 66, 82, 115] предлагат и други възможности за изчисление на жълтия сигнал и междинните времена, като методът заложен от Мор в [66] се основава на динамичните и кинематични свойства на автомобили и геометричните параметри на изследваните кръстовища. Изчислява се необходимото междинно време за всяка конфликтна зона на всяка фаза и се приема най-голямата стойност. Авторът допълва, че е възможно за всяка фаза да се изчисли междинното време само за т. нар. критична конфликтна зона.

Някои автори [58, 73, 100] предлагат и формули за изчисляване на автомобилите в опашка съобразно интензивността на потока, времето за цикъл и ефективното време за зелен сигнал (времето за зелен плюс жълт сигнал намалени с времето за потегляне на първия автомобил плюс свободното време за преминаване в края на жълтия сигнал), брой преминали по време на зелен сигнал, потока на насищане. Определеното в [100] време за чакане, образуването на опашка и нейната дължина се основават на намерени закони на разпределение на случайни величини като брой пристигнали автомобили, брой преминали за цикъл и други. При съвременните условия на движение в градски условия се доказва, че закон на разпределение на тези величини се намира само за някои от входящите респ. изходящите потоци.

Саломонс в [110] оптимизира времето за цикъл с помощта на компютърна програма. Целта на автора е да постигне минимално време за цикъл като по този начин определя и минимални задръжки на кръстовището. Това твърдение може да се приеме за вярно при определени условия, при които се задържа необосновано даден поток на кръстовището, но не и във всички случаи.

Букхолс в [98] дава разяснения за това как е приемливо да се образуват фазите на пропускане на потоците през различни типове кръстовища, какво включва определена фаза и какви мерки могат да се предприемат при повреда на светофарната уредба.

Определянето на времената при светлинно – регулирани кръстовища се основава на количествените стойности на определени показатели на пътнотранспортното движение. Получените резултати трябва да удовлетворяват предварително зададени критерии и ограничения определени за конкретните условия на движение.

Състоянието на пътнотранспортното движение в градовете поставя високи изисквания относно решенията свързани с постигане на определените цели за неговото планиране, организация и управление. Това не може да се постигне без разработване и внедряване на системи за адаптивно регулиране на движението. Необходимо е тези системи да притежават елементи за непрекъснато изследване на показателите на пътнотранспортното движение, за

моделиране на множеството възможни решения с определена цел, за оценка на приложените решения и управление на движението в реално време.

### 1.5 Цел и задачи на дисертационният труд

Анализа на разгледаните литературни източници дава основание да се формулира целта на настоящия дисертационен труд, а именно:

Цел на работата е изследване и моделиране на пътнотранспортното движение в зоната на кръстовища за намаляване на транспортните задръжки и условията за настъпване на аварийни ситуации.

За осъществяване на целта е необходимо изпълнението на следните задачи:

1. Избор на показатели на пътнотранспортното движение.
2. Изследване на зависимости и определяне на количествени стойности на основни показатели на пътнотранспортното движение в зоната на кръстовища.
3. Избор на критерий за оптималност на светлинно-сигналното регулиране на кръстовища.
4. Разработване на алгоритми за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светлинно-регулirани кръстовища, приложими за случаите, които довеждат до аварийни ситуации.
5. Експериментална проверка и доказване на моделиращите алгоритми.

Поставената цел и задачи трябва да са съобразени и да се решават в условията и възможностите за създаване на автоматизирани системи за управление на пътнотранспортното движение в градовете.

## ГЛАВА 2

# ИЗБОР И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОСНОВНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА ПЪТНОТРАНСПОРТНОТО ДВИЖЕНИЕ В ЗОНАТА НА КРЪСТОВИЩА. КРИТЕРИЙ ЗА ОПТИМАЛНОСТ НА СВЕТЛИННО-СИГНАЛНОТО РЕГУЛИРАНЕ

Организацията и управлението на пътнотранспортното движение се основава на изследвания на неговите показатели със съответните количествени стойности и зависимости между тях. Видът на изследванията и методите за тяхното провеждане се определя от целите поставени за конкретните условия на движение и необходимите мероприятия за тяхното постигане.

2.1 Избор и изследване на показателите на пътнотранспортното движение.

Параметрите свързани с транспортните и пешеходните потоци, пропускателната способност и задръжките са основни за организацията и управлението на пътнотранспортното движение.

Параметрите могат да бъдат разделени на три групи:

- Изходни – това са параметрите на транспортните потоци върху стойностите, на които не може да се влияе както и параметри на съществуващите пътни възли и участъци;
- Работни – параметри и зависимости, описващи изследваните процеси като дължини на опашки, времена за преминаване, продължителност на светлинните сигнали и други;
- Оценъчни – дават възможност за оценка на взетите решения като време за чакане, дължини на опашки, количество на отделените вредни емисии от транспорта, разход на гориво и други.

Транспортните потоци се характеризират с параметрите интензивност, скорост, плътност и състав.



Интензивността на транспортния поток  $I_a^f$  се определя за дадено пътно платно, пътна лента или направление като отношение на броя преминали автомобили  $A$  за период от време  $t$  по следната формула:

$$I_a^f = \frac{A_m}{t} \quad (2.1)$$

При зададени транспортни условия скоростта и плътността на транспортния поток зависят пряко от интензивността. Непрекъснатото измерване на скоростта е технически възможно, но използването ѝ като входен параметър за моделиране и оптимизация е неприложимо за различни условия на движение. Плътността на транспортния поток изисква изследване върху големи участъци от пътните платна, което изисква голям технически ресурс. Основно при моделиране на движението е установяване или приемане на закономерност, отразяваща пристигането на автомобилите. Това се постига с отчитане на времевите интервали между автомобилите. Измерват се от момента на пресичане на предна броня на автомобил през прекарана мислена линия до момента на пресичане на предна броня на следващия автомобил. Съвременните условия на движение в повечето случаи не позволяват установяването на закон за разпределение на времевите интервали между автомобилите. Това се дължи на факта, че при движението си в градски условия трафикът се подчинява на множество фактори като: разстояние до предни светофарно-регулирани кръстовища; състояние на пътната настилка; ограничаване на скоростта в някои участъци от пътната мрежа; метеорологични условия и други. Освен това, търсенето на закон на разпределение, което не винаги би довело до положителен резултат, утежнява използването на алгоритмите за моделиране на пътнотранспортното движение. Посочените причини определят като параметър за изследване интензивността на транспортния поток, който може да се определя както чрез наблюдатели, а така също и чрез технически средства като видео наблюдение и различни видове транспортни детектори. Това е от особено

значение при осъществяване на адаптивно сигнално регулиране, което от своя страна е основа за подобряване организацията на движение в градовете.

Параметрите на пътните възли и участъци като размери, видът на настилката, броя на лентите и т. н. оказват влияние върху пропускателната способност на съоръжението от пътя, която експериментално се определя въз основа на множество измервания по следната формула:

$$I_p^f = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi}}{n} t_{pi}, \text{ а/сек.} \quad (2.2)$$

където:  $I_p^f$  е пропускателна способност за потока, а/сек.;

$A_{pi}$  - брой на автомобилите в опашка успели да преминат през кръстовището при светване на зелен сигнал на светофарната уредба за съответното измерване;

$t_{pi}$  - време за преминаване на  $A_{pi}$ , сек.

$n$  - брой на измерванията.

Необходимо е да се уточни, че автомобилите нарушили правилата за движение по пътищата не се включват в отчитането на данните. Такива са: преминалите на червен сигнал на светофарната уредба; преминаващи в направление различно от предназначението на лентата за движение, в която се намират и други в зависимост от конфигурацията и местоположението на кръстовището.

Стойностите за пропускателната способност са постоянни за конкретните условия на движение и не се променят докато не се въведат инфраструктурни промени.

Броя на чакащите автомобили в опашка зависи от множество фактори като вид и конфигурация на съоръжението от пътя, вида на регулиране при пропускане на потоците, продължителността на времената при светлинно регулиране, интензивността на транспортните потоци и други. Дължината на опашката  $Q_{av}$  може да се определя непрекъснато при наличие на информация

за интензивността на пристигане и преминаване на автомобилите. Когато няма такава възможност се определя експериментално по следната формула:

$$Q_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}, \text{ бр.} \quad (2.3)$$

където:  $q_i$  е дължина на опашката за всяко измерване (всеки цикъл от изследвания период или определен период от време), бр. авт.;

$n$  - брой измервания в изследвания период.

Параметрите свързани с времената при светлинно регулирани кръстовища като продължителност на цикъла на светофарната уредба, продължителност и вид на фазите на пропускане на потоците и други влияят върху стойностите на оценъчните параметри. В отделни случаи границите на промяна на тези параметри са нормативно определени.

Ефективността от взетите решения свързани с организацията на движение се оценява основно с параметъра време за чакане на автомобилите. То може да се определи за един автомобил, за всички автомобили от даден поток или за всички потоци. В отделни случаи чрез параметъра време за чакане се оценява пропускателната способност на съответния участък от пътната мрежа, а в други случаи – организацията на движението през пътни възли и участъци. Параметрите разход на гориво и отделените вредни емисии от работата на автомобилния транспорт в градовете са свързани със скоростите на движение, състава на транспортния поток и най-вече с времето за чакане на автомобилите.

В таблица 2.1 са показани избраните параметри за осъществяване целта на дисертационния труд, отнесени към съответните показатели на пътнотранспортното движение.

Съществуващите методи за изследване на показателите на пътното движение са сложни и изискват значителни ресурси като вграждането на специални технически средства за отчитане на трафика, множество наблюдатели, които предварително трябва да се обучат в спецификата на дейността, която ще извършват, използване на видео-заснемането, при което е

необходимо монтиране на множество камери за съответните изследвани области от пътното платно и други.

Таблица 2.1 Избрани параметри на пътнотранспортното движение

	Показател	Параметър
Изходни параметри	Транспортен поток	1. Интензивност
	Пропускателна способност	1. Брой преминали автомобили
Работни параметри	Транспортен поток	1. Брой пристигнали автомобили по време на червен сигнал; 2. Брой пристигнали автомобили по време на зелен сигнал; 3. Брой пристигнали автомобили за времето на цикъла;
	Пропускателна способност	1. Продължителност на цикъла на светофарната уредба; 2. Брой на фазите на пропускане на потоците; 3. Продължителност на фазите; 4. Брой преминали автомобили по време на зелен сигнал.
Оценъчни параметри	Задръжки на транспортния поток	1. Време за чакане на всички автомобили на кръстовището; 2. Брой чакащи автомобили в опашка.

За осъществяването на поставените задачи в настоящия дисертационен труд е използван метод за изследване на изходните параметри от един наблюдател. Той позволява определянето им, чрез видео-заснемане на транспортните потоци, и анализ на получените резултати. Освен това е възможно получаването на информация и относно задръжките, пропускателната способност (потока на насищане), определяне на

кореспонденциите между входовете и изходите на изследвания пътен възел и други показатели на пътнотранспортното движение.

Методът включва:

1. Заснемане на транспортните потоци с видеокамера.
2. Обработка на заснетия материал за снемане на данни за показателите на транспортните потоци.
3. Анализ на обработените резултати.
4. Натрупване на база данни за характера на пътнотранспортното движение.

Избраните оценъчни параметри позволяват да се определи критерий за оптимално решение за организация и управление на движението при изменение на изходните параметри на пътнотранспортното движение.

2.2 Избор на критерий за оптимално пропускане на пътнотранспортното движение през светлинно-регулирани кръстовища.

Организацията и управлението на пътнотранспортното движение в градски условия е обусловено от множество параметри свързани с показателите на транспортните потоци. Освен това съществуват и редица ограничителни условия за стойностите на параметрите им, което зависи от градоустройствени, технически, икономически и други причини. В зависимост от характера и значението на стойностите на показателите и ограничителните условия, пътнотранспортното движение може да бъде оптимално по един или няколко параметъра според поставените цели.

Характерът на пътнотранспортното движение в градовете и по-специално пропускането на транспортните потоци през кръстовищата, налага критериите за оптималност да притежават следните основни характеристики:

- да са практически приложими – стойностите им да се получават на основата на достъпна и актуална информация;
- да са приложими както за изолирано кръстовище така и за комплекс от взаимосвързани кръстовища;

- да оценяват разхода от време на населението при пътуване в градовете;
- да способстват намаляването на вредното влияние от транспорта върху околната среда.

За целта на настоящата работа се формулира следният критерий за оптималност при пропускане на пътнотранспортното движение през светлинно регулирани кръстовища:

**ПРОПУСКАНЕТО НА ПЪТНОТРАНСПОРТНОТО ДВИЖЕНИЕ ПРЕЗ СВЕТЛИННО-РЕГУЛИРАНО КРЪСТОВИЩЕ Е ОПТИМАЛНО, КОГАТО СУМАТА ОТ ВРЕМЕНАТА ЗА ЧАКАНЕ НА ВСИЧКИ ПОТОЦИ НА КРЪСТОВИЩЕТО Е МИНИМАЛНА.**

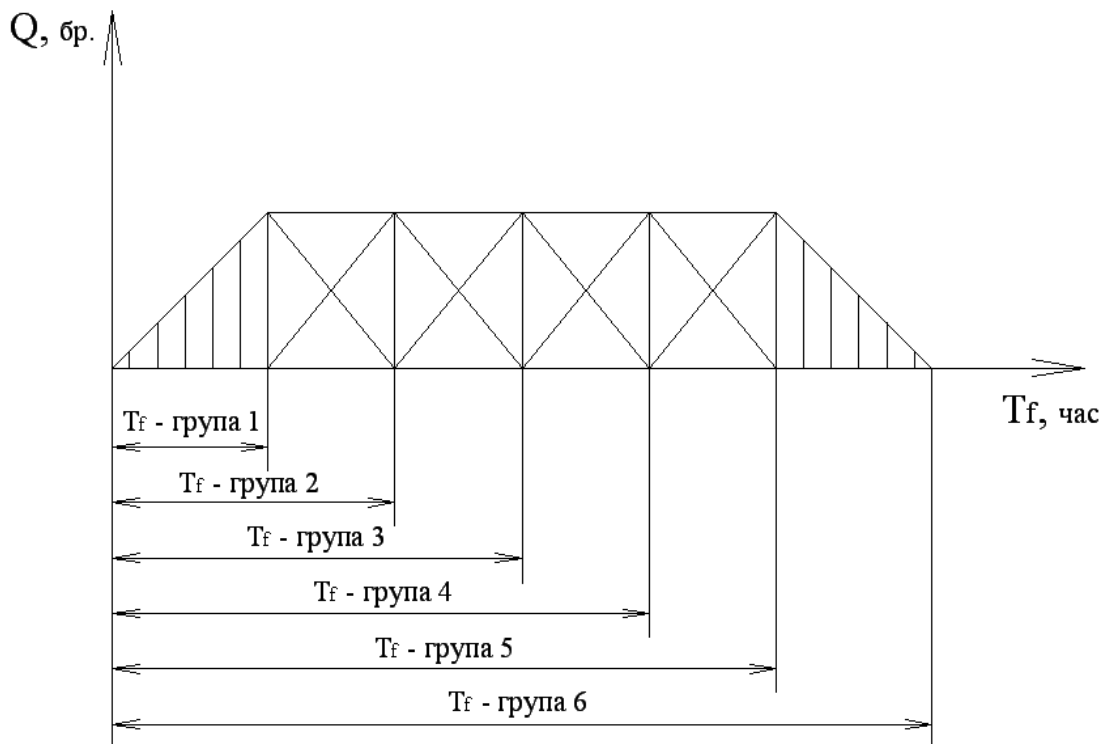
Формулирания критерий може да се изпълни в две направления: с изменение на инфраструктурата (подлези, надлези и други видове пътни възли) или със запазване на съществуващата инфраструктура. При светлинно-сигнално регулиране и запазване броя и вида на фазите изборът на решение по посочения критерий трябва да е съобразен със следните ограничителни условия:

- минимална продължителност на цикъла на светофарната уредба;
- максимална продължителност на цикъла на светофарната уредба;
- минимална продължителност на зеления сигнал;
- определена продължителност на междинните времена;
- брой чакащи автомобили в опашка от дадено направление;
- допълнителни условия свързани с координиране на светофарните уредби и други.

От своя страна времето за чакане на даден поток е функция от множество параметри като: интензивност на пристигане на автомобилите, пропускателната способност, дължина на опашката и продължителността на цикъла на светофарната уредба  $t_c$ . Определянето на времето за чакане налага съобразяване с влиянието на всеки един от изброените параметри.

2.3 Определяне на времето за чакане на транспортен поток и минимума на времето за чакане на всички потоци на кръстовището.

Анализът на процеса на пристигане и преминаване на автомобилите през кръстовище позволяват да се разработи математично изразяване на времето за чакане на поток  $T_f$ . Изчисленията отчитат времето за чакане на автомобилите, оставащи в опашка до момента на тяхното преминаване (фиг. 2.1). Сумата от времената за чакане на отделните групи от автомобили, които преминават за всеки цикъл на светофарната уредба представлява стойността на времето за чакане на потока от съответния вход на кръстовището.



Фиг. 2.1 Общ вид на елементите на времето за чакане на поток

При определянето на времето за чакане на поток са възможни няколко варианта в зависимост от дължината на опашката и максималния брой автомобили (група автомобили), които могат да преминат по време на зелен сигнал за един цикъл на светофарната уредба:

- време за чакане на поток при опашка по-голяма или равна на максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба ( $Q \geq P_g$ );

- време за чакане на поток при опашка по-малка от максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба ( $Q < P_g$ );

- време за чакане на поток при пропускане на движението през кръстовището в две фази.

2.3.1 Време за чакане на поток при опашка  $Q$  по-голяма или равна на максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба  $P_g$  ( $Q \geq P_g$ )

При този вариант част от автомобилите (група 1), чакащи в опашка, успяват да преминат по време на зелен сигнал. Пристигащите автомобили на зелен и червен сигнал ще чакат определено време за цикъла на преминаване на част от опашката, плюс времето за чакане определено от броя цикли, които ще чакат, за да преминат всички автомобили (групи 2, 3 и т. н.). Времето за чакане на потока е:

$$T_f = \frac{B + C}{3600}, \text{ час} \quad (2.4)$$

където:  $B$  е времето за чакане на автомобилите по време на първия за изчисленията цикъл, сек.;

$C$  - времето за чакане на автомобилите след първия за изчисленията цикъл до момента на тяхното преминаване, сек.

Стойността на  $B$  се изчислява по следната формула:

$$B = (Q - P_g) * t_c + A_g \left( \frac{t_g}{2} + t_r \right) + A_r * \frac{t_r}{2}, \text{ сек.} \quad (2.5)$$

където:  $Q$  е броят на автомобилите в опашка, бр. авт.;

$P_g$  - максималният брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал, бр. авт.;



$A_g$  - автомобили пристигнали по време на зелен сигнал, бр. авт.;

$t_g$  - продължителност на зеления сигнал, сек.;

$t_r$  - продължителност на червения сигнал, сек.;

$A_r$  - автомобили пристигнали по време на червен сигнал, бр. авт.

Времето за чакане на автомобилите през първия за изчисленията цикъл  $B$  съдържа в себе си следните времена:

-  $(Q - P_g) * t_c$  - времето за чакане на автомобилите в опашка, които не са могли да преминат по време на зеления сигнал;

-  $A_g \left( \frac{t_g}{2} + t_r \right)$  - времето за чакане на автомобилите пристигнали по време на зелен сигнал;

-  $A_r * \frac{t_r}{2}$  - времето за чакане на автомобилите, които пристигат на червен сигнал.

Стойността на  $C$  се изчислява по следната формула:

$$C = \sum_{n=2}^K (Q + A_g + A_r - n P_g) * t_c, \text{ сек.} \quad (2.6)$$

където  $K$  е броят цикли на светофарната уредба, през които автомобилите останали в опашка, след първия за изчисленията цикъл, ще чакат да преминат.

Стойността на  $K$  се определя от израза:

$$K = \frac{Q + A_g + A_r}{P_g}, \text{ бр.} \quad (2.7)$$

Стойността на  $K$  се закръглява към по-малкото цяло число. Това се налага, тъй като стойностите след десетичната запетая изразяват времето за чакане изчислено по 2.5. В случаите, когато  $K$  е цяло число, изразът в скобите при изчисленията по 2.6 за последната стойност на  $K$  е равна на нула, което изразява отново изчисленото по 2.5.

Времето за чакане на автомобилите  $C$ , съдържа в себе си времената за чакане за всеки следващ цикъл на останалите автомобили в опашката, след първия за изчисления цикъл, до момента на тяхното преминаване.

Броят на автомобилите пристигнали по време на зелен и червен сигнал на светофарната уредба се от според интензивността на пристигане на автомобилите:

$$A_g = I_a^f * t_g, \text{ бр. авт.} \quad (2.8)$$

$$A_r = I_a^f * t_r, \text{ бр. авт.} \quad (2.9)$$

Броят на автомобилите, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба се определя според пропускателната способност:

$$P_g = t_g * I_p^f, \text{ бр. авт.} \quad (2.10)$$

2.3.2 Време за чакане на поток при опашка по-малка от максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба ( $Q < P_g$ )

В зависимост от стойностите за броя на автомобилите пристигнали по време на зелен и по време на червен сигнал, дължината на опашката и максималния брой автомобили, които могат да преминат по време на зелен сигнал на светофарната уредба, различаваме три случая на изчисление на времето за чакане при този вариант:

А) В случай, че  $Q + A_g \leq P_g$  и  $A_r > P_g$  автомобилите пристигнали по време на зелен сигнал успяват да преминат през кръстовището. Времето за чакане се формира от това, колко ще чакат, за да преминат всички автомобили пристигнали по време на червен сигнал. Изчислява по следната формула:

$$T_f = \frac{D + E}{3600}, \text{ час} \quad (2.11)$$

където:  $D$  е времето за чакане на автомобилите по време на първия за изчисленията цикъл, сек.;

$E$  - време за чакане на автомобилите след първия за изчисленията цикъл, сек.

Стойността на  $D$  се изчислява по следната формула:

$$D = A_r * \frac{t_r}{2}, \text{ сек.} \quad (2.12)$$

Времето  $D$  съдържа в себе си времето за чакане на автомобилите, които пристигат на червен сигнал. През първия за изчисленията цикъл те ще чакат половината от продължителността на червения сигнал.

Стойността на  $E$  се изчислява по следната формула:

$$E = \sum_{n=1}^{K'} (A_r - n P_g) * t_c, \text{ сек.} \quad (2.13)$$

където  $K'$  е брой цикли на светофарната уредба, след първия за изчисленията, през които автомобилите пристигнали на червен сигнал чакат да преминат.

Стойността на  $K'$  се определя според израза:

$$K' = \frac{A_r}{P_g}, \text{ бр.} \quad (2.14)$$

Стойността на  $K'$  се закръгля към по-малкото цяло число. Това се налага, тъй като стойностите след десетичната запетая изразяват времето за чакане изчислено по 2.12. В случаите, когато  $K'$  е цяло число изразът в скобите при изчисленията по 2.13 за последната стойност на  $K'$  е равна на нула, което изразява отново изчисленото по 2.12.

Б) В случай, че  $Q + A_g \leq P_g$  и  $A_r \leq P_g$  всички автомобили пристигнали по времето на цикъла на светофарната уредба успяват да преминат по време на зеления сигнал към съответния поток. В този случай опашки не се натрупват и

времето за чакане се формира от това колко чакат автомобилите пристигнали на червен сигнал по следната формула:

$$T_f = \frac{D}{3600}, \text{ час} \quad (2.15)$$

Стойността на  $D$  се изчислява според 2.12 и съдържа в себе си същите времена.

В) Във всички останали случаи на  $Q < P_g$ , различни от А) и Б), част от автомобилите пристигнали на зелен сигнал ще успяват да преминат. Другата част, пристигнали на зелен сигнал, заедно с автомобилите пристигнали на червен сигнал ще имат определено време за чакане за този цикъл плюс времето за чакане определено от броя на циклите за преминаване на всички автомобили.

В този случай времето за чакане на поток е:

$$T_f = \frac{F + C}{3600}, \text{ час} \quad (2.16)$$

където:  $F$  е времето за чакане на автомобилите по време на първия за изчисленията цикъл, сек..

$C$  - времето за чакане на автомобилите след първия за изчисленията цикъл до момента на тяхното преминаване, сек.

Стойността на  $F$  се изчислява по следната формула:

$$F = (Q + A_g - P_g) * \left(\frac{t''}{2} + t_r\right) + A_r * \frac{t_r}{2}, \text{ сек.} \quad (2.17)$$

където  $t''$  е част от времето на зеления сигнал, през която пристигат неуспелите да преминат на зелен сигнал автомобили. Изчислява се по формулата:

$$t'' = t_g - t', \text{ сек.} \quad (2.18)$$

където  $t'$  е част от времето на зеления сигнал, през която пристигат успешите да преминат на зелен сигнал автомобили. Изчислява се по формулата:

$$t' = \frac{A_{gp}}{I_a^f}, \text{ сек.} \quad (2.19)$$

където:  $A_{gp}$  е броя на пристигналите на зелен сигнал автомобили, успели да преминат на зелен сигнал;

$I_a^f$  - интензивността на пристигане на автомобилите, а/сек.

Броят на автомобилите пристигнали по време на зелен сигнал и успели да преминат по време на зеления сигнал  $A_{gp}$  се определя по формулата:

$$A_{gp} = P_g - Q, \text{ бр. авт.} \quad (2.20)$$

Времето за чакане на автомобилите през първия за изчисленията цикъл  $F$  съдържа в себе си следните времена:

- $(Q + A_g - P_g) * (\frac{t''}{2} + t_r)$  - времето за чакане на автомобилите, които са пристигнали по време на зеления сигнал, но не са успели да преминат по времето на този зелен сигнал;

- $A_r * \frac{t_r}{2}$  - времето за чакане на автомобилите, които пристигат на червен сигнал.

Стойността на  $C$  се изчислява идентично с 2.6, за която се отнасят и всички разяснения дадени за 2.7 и времената, които съдържа.

Стойностите за броя на автомобилите пристигнали на зелен и червен сигнал на светофарната уредба се определят съобразно 2.8 и 2.9.

За конкретната стойност на зелените сигнали се изчислява сумата на времената за чакане на отделните потоци за цялото кръстовище. Последователно тази сума се изчислява за различна продължителност на цикъла и възможни комбинации на зелени сигнали. Минималната от

получените стойности  $T_{w\min}$  е оптимално решение за пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовището:

$$T_{w\min} = \min \left[ \left( \sum_{i=1}^n T_{fi} \right)_1 : \left( \sum_{i=1}^n T_{fi} \right)_m \right], \text{ час} \quad (2.21)$$

където:  $T_{w\min}$  е минималното време за чакане на всички потоци на кръстовището;

$T_{fi}$  - времето за чакане на  $i$  – тия поток при определена продължителност на цикъла и комбинация на зелените сигнали;

$n$  - брой на потоците;

$m$  - брой комбинации на зелените сигнали.

Получената стойност на зелените сигнали (продължителността на отделните фази) може да се коригира съобразно поставени ограничителни условия за конкретното кръстовище като определени продължителности на междинните времена, дължини на опашки, продължителност на цикъла на светофарната уредба и други.

Продължителностите на междинните времена се гарантират от това, че те се изключват от времето, което променяме като зелени сигнали към потоците, а именно:

$$t_{av} = t_c - \sum_{i=1}^n t_{ii}, \text{ сек.} \quad (2.22)$$

където:  $t_{av}$  е времето за промяна, с което разполагаме, сек.;

$t_c$  - продължителност на цикъла на светофарната уредба, сек.;

$t_t$  - междинно време, сек.;

$n$  - брой междинни времена.

За изчисляване на дължините на опашките и съответствието им със зададеното ограничително условие определяме броя на автомобилите в опашка

отнесени за една секунда от продължителността на червения сигнал към съответния поток  $I_{Q_i}$ :

$$I_{Q_i} = \frac{Q_{av}^{f_i}}{t_r^{f_i}}, \text{ а/сек.} \quad (2.23)$$

където:  $Q_{av}^{f_i}$  е дължината на опашката за съответния поток, бр. авт.;

$t_r^{f_i}$  - продължителност на червения сигнал за съответния поток, сек.

Оставащите автомобили в опашка за всеки от потоците  $A_{Q_i}^{f_i}$ , за един цикъл на светофарната уредба се определя по формулата:

$$A_{Q_i}^{f_i} = \frac{Q^{f_i} - P_g^{f_i}}{N_{t_c}}, \text{ бр. авт.} \quad (2.24)$$

където:  $Q^{f_i} = t_r^{f_i} * I_{Q_i}$  са автомобилите, които се натрупват в опашка по време на червения сигнал за  $i$ -тия поток, бр. авт.;

$P_g^{f_i}$  - автомобилите, които могат да преминат по време на зелен сигнал от  $i$ -тия поток, определени по формула 2.10, бр. авт.

$N_{t_c}$  - брой цикли на светофарната уредба в периода, за който оптимизираме, определен по формула 2.25.

$$N_{t_c} = \frac{T_p}{t_c}, \text{ бр. цикли} \quad (2.25)$$

където:  $T_p$  е продължителността на периода от денонощието, за който оптимизираме времената на фазите, сек.;

$t_c$  - продължителност на цикъла на светофарната уредба, сек.

Получената стойност за оставащите автомобили в опашка трябва да е по-малка или равна на предварително определена стойност като ограничително условие за дължина на опашка по следната формула:

$$A_{Q_{\max}}^{f_i} = \frac{A_L}{N_{t_c}}, \text{ бр. авт.} \quad (2.26)$$

където:  $A_{Q_{\max}}^{f_i}$  е максимална стойност на оставащите автомобили в опашка за  $i$ -тия поток за един цикъл на светофарната уредба, бр. авт.;

$A_L$  - брой автомобили чакащи в опашка, определен по формула 2.27.

$$A_L = \frac{L_r * l_t}{l_c}, \text{ бр. авт.} \quad (2.27)$$

където:  $L_r$  е ограничително разстояние, до което сме определили, че може да нараства опашката от съответния поток (напр. до съседно кръстовище), м;

$l_t$  - брой ленти за движение към съответния вход на кръстовището;

$l_c$  - дължина на един автомобил – приемаме  $l_c = 5\text{ м}$ .

Ограничителното условие е спазено в случай, че е изпълнено неравенството  $A_{Q_{\max}}^{f_i} \leq A_{Q_{\max}}^{f_i}$ . В случаите на неизпълнение на неравенството цикълът се коригира до изпълнението на поставените ограничителни условия.

### 2.3.3 Време за чакане на поток при пропускане на движението през кръстовището в две фази

Голяма част от кръстовищата, особено в централните градски части, пропускат транспортните потоци в две фази. При това се формират два потока на преминаване през кръстовището. В тези случаи времето за чакане на поток може да се изчисли съобразно броя на автомобилите в опашка отнесени за една секунда на червения сигнал на светофарната уредба към съответния



поток. Общото време за чакане, за един цикъл на светофарната уредба, при всеки вариант на разпределение на зелените сигнали се изчислява по следната формула:

$$\begin{aligned}
 T_{w1} &= \frac{1 * I_{Q_1} + \sum_{i=1}^{t_{av}^{-1}} (t_{g_i}^{f_1} * I_{Q_2})}{3600}, \text{ час} \\
 T_{w2} &= \frac{\sum_{i=1}^2 (t_{g_i}^{f_2} * I_{Q_1}) + \sum_{i=1}^{t_{av}^{-2}} (t_{g_i}^{f_1} * I_{Q_2})}{3600}, \text{ час} \\
 &\quad \vdots \\
 T_{w(n-1)} &= \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (t_{g_i}^{f_2} * I_{Q_1}) + \sum_{i=1}^{t_{av}^{-(n-1)}} (t_{g_i}^{f_1} * I_{Q_2})}{3600}, \text{ час} \\
 T_{wn} &= \frac{\sum_{i=1}^n (t_{g_i}^{f_2} * I_{Q_1}) + \sum_{i=1}^{t_{av}^{-n}} (t_{g_i}^{f_1} * I_{Q_2})}{3600}, \text{ час}
 \end{aligned} \tag{2.28}$$

където първото събираемо представлява времето за чакане на Поток 1, а второто събираемо – времето за чакане на Поток 2 за всяка  $i$ -та комбинация на зелените сигнали и съответно:

$T_{w1}$  - общото време за чакане на кръстовището при комбинация на зелените сигнали 1 секунда за Поток 2 и останалото време за промяна за Поток 1;

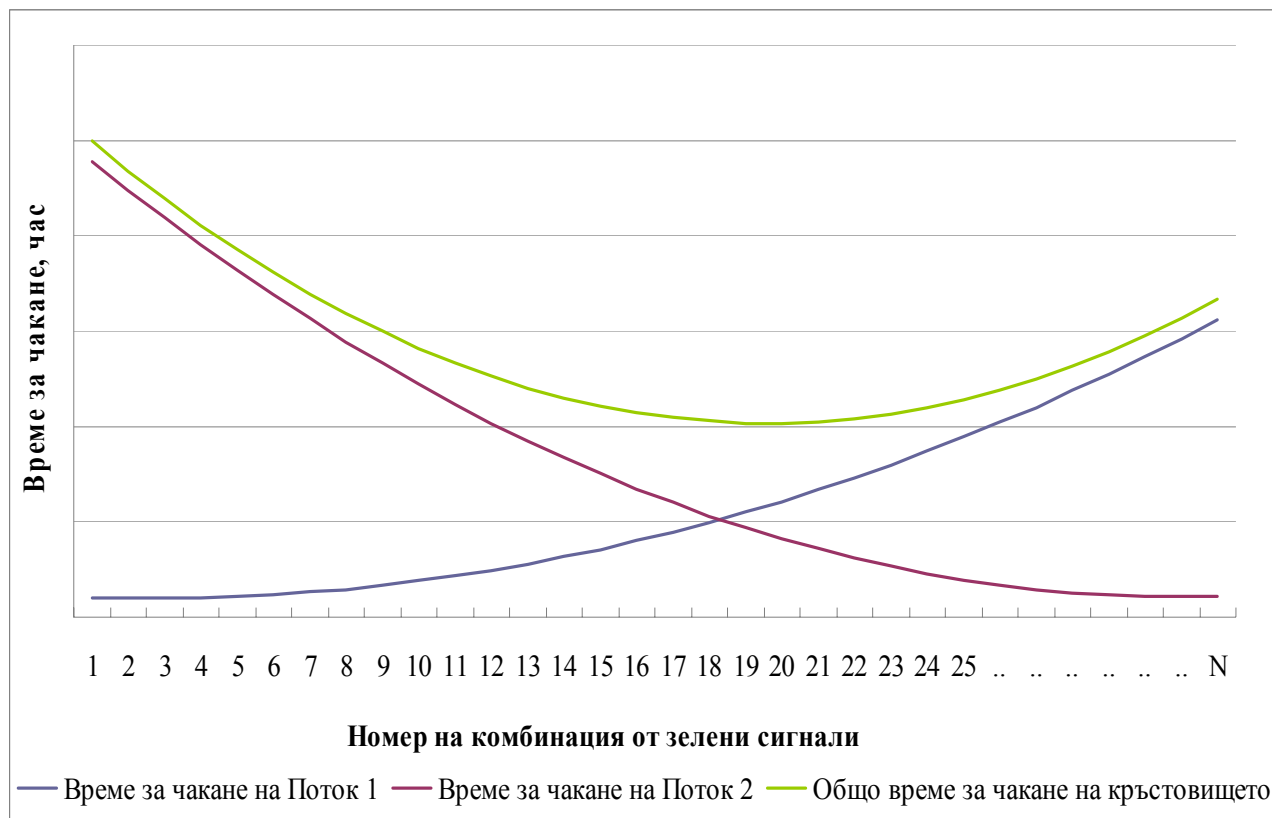
$T_{w2}$  - общото време за чакане на кръстовището при нарастване на зеления сигнал за Поток 2 и останалото време за промяна за Поток 1;

$T_{wn}$  - общото време за чакане на кръстовището при комбинация на зелените сигнали времето за промяна минус една секунда за Поток 2 и една секунда за Поток 1.

$n$  - възможните варианти за промяна:  $n = t_{av} - 1$ .

При всяка последователна промяна на комбинацията от зелени сигнали времето за чакане на единия поток се увеличава, а на другия намалява (Фиг.

2.2). Определя се минималното общо време за чакане на двата потока за един цикъл на светофарната уредба на кръстовището по формула 2.21, като при тази комбинация продължителностите на зелените сигнали са оптимални за кръстовището.



Фиг. 2.2 Графично представяне на времето за чакане при пропускане на движението през кръстовището в две фази

Формулираният критерий и получените изрази за неговото изчисление при различните варианти дават основание за следните изводи:

1. Предлаганият критерий е основа за оптимизиране работата на светофарните уредби като отразява загубите от време за чакане на всички автомобили на кръстовището.

2. Представените математически изрази обхващат възможните случаи при пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовище.

3. Критерият за оптимално пропускане на движението през кръстовище е приложим в случаите на планиране и прогнозиране на пропускането на пътнотранспортното движение през кръстовище или комплекс от взаимосвързани кръстовища.

## ГЛАВА 3

### АЛГОРИТМИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ ПРОДЪЛЖИТЕЛНОСТТА НА ЦИКЪЛА И ФАЗИТЕ НА СВЕТЛИННО-РЕГУЛИРАНИ КРЪСТОВИЩА

Светофарна уредба на кръстовище се оразмерява така, че да пропуска движението през пиковия период и да има известен процент резервна пропускателна способност. Неправилното оразмеряване на светофарната уредба води до образуване на задръствания, увеличаване на времето за пътуване, разхода на гориво, неизползване на възможностите на пътната мрежа и други.

За оптимизиране на работата на светофарните уредби на кръстовищата са разработени алгоритми, приложими за случаите, които довеждат до „аварийни” ситуации, включващи в себе си задръствания, увеличаване на времето за пътуване, себестойността на превозите и отделяните вредни емисии от транспорта и включват алгоритми:

- за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище;
- за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази.

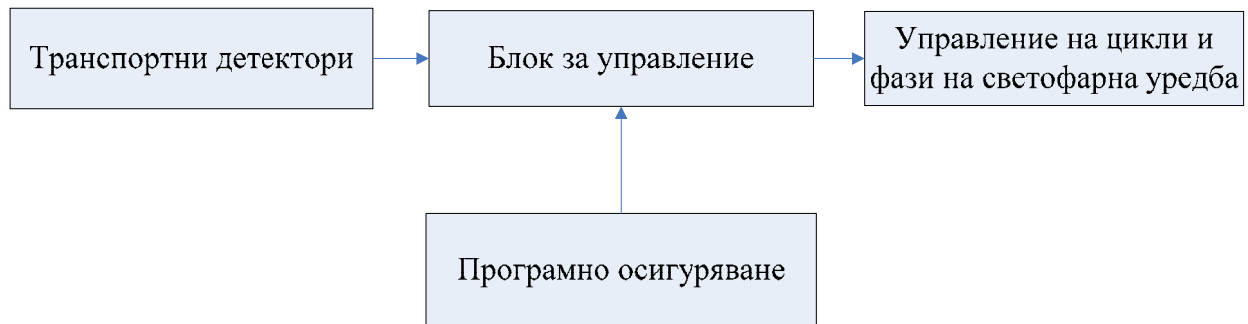
3.1 Разработване на алгоритъм за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище.

Оптимизиране на продължителността на цикъла и фазите с помощта на представения в Глава 2 критерий се основава на минимизиране на общото време за чакане на кръстовището.

Алгоритъмът е разработен за програмно осигуряване на контролерите при адаптивно светлинно-сигнално регулиране. Управлението на такава светофарна уредба изисква наличието на елементите показани на фиг. 3.1.

Разработването на алгоритъма се осъществява при спазване на ограничителните условия за прилагането на критерия избран в Глава 2 за продължителност на цикъла, времената за зелен сигнал, брой автомобили в

опашка и други, както и за осигуряване на необходимите времена за преминаване на пешеходците в зоната на кръстовището.



Фиг. 3.1 Елементи на система за адаптивно управление на светофарни уредби

Входните данни за алгоритъма са:

- интензивност на пристигане на автомобилите към съответния клон на кръстовището  $I_a^f$ ;

- пропускателната способност на съответния клон  $I_p^f$ ;

- минимална продължителност на зеления сигнал  $t_{g\min}$ ;

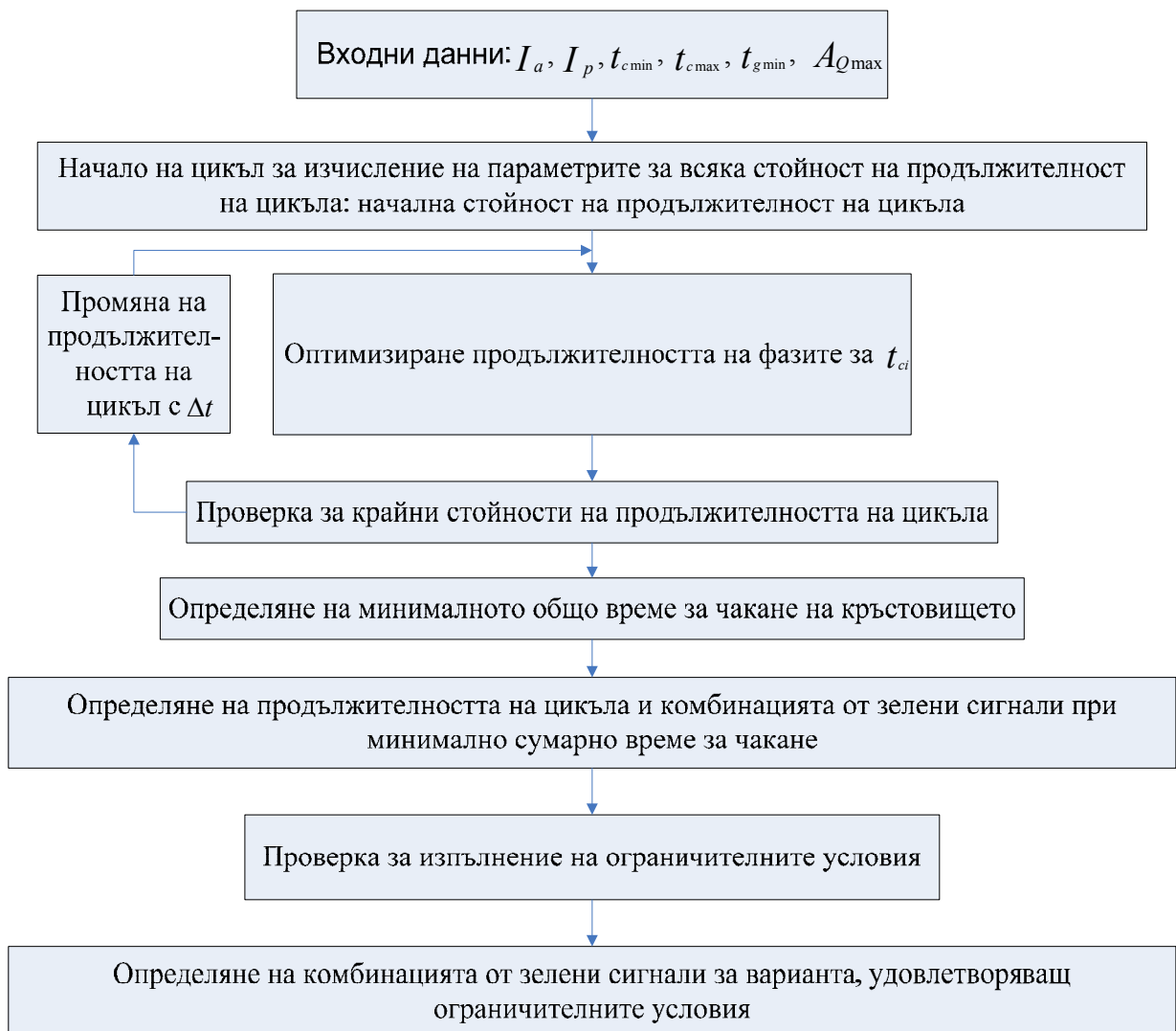
- минимална продължителност на цикъла  $t_{c\min}$ ;

- максимална продължителност на цикъла  $t_{c\max}$ .

Стойностите на интензивностите на пристигане на автомобилите по потоци се актуализират непрекъснато от информацията подавана от транспортните детектори към блока за управление, а пропускателната способност се определя според формула 2.2. Стойностите за максимална и минимална продължителност на цикъла и зеления сигнал се определят съобразно нормативни изисквания, координация със съседни светофарни уредби и други.

Оптимизацията включва промяна на времето за цикъл с определена стъпка  $\Delta t$  от минимална до максимална стойност. За всяка стойност се определят продължителността на фазите, удовлетворяващи критерия за оптимизация и ограничителните условия. За оптимални времена на цикъла и фазите на светофарната уредба се приемат тези, при които времето за чакане на всички потоци на кръстовището е най-малко. Блок-схема на обобщения

алгоритъм за оптимизация на продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище е показан на фиг. 3.2.



Фиг. 3.2 Блок-схема на обобщен алгоритъм за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище

При продължителност на цикъла  $t_c$  от 120 секунди и пропускане на потоците в четири фази възможните комбинации на зелените времена  $t_g$  с наредба и повторение през една секунда са около 72 милиона, а с ограничителните условия – около 780 хиляди. Този голям брой комбинации, за които трябва да се извършват изчисления от блока за управление изисква време превишаващо многократно един или няколко цикъла на светофарната уредба, което няма да позволи управление на светофара в реално време.

За намаляване броя на пресмятанията при оптимизиране продължителността на фазите изчисленията се провеждат на два етапа:

I етап – определят се комбинации от зелени сигнали с определена стъпка  $\Delta t$  (напр. 10 секунди) в рамките на времето за цикъл. За всяка възможна комбинация се определя общото време за чакане и се избира тази комбинация, при която сумата на времето за чакане е минимална. Общият брой на възможните комбинации при продължителност на цикъла от 120 секунди и стъпка на промяна 10 секунди е 165.

II етап – определят се интервали със среди получените стойности за зелени сигнали в етап I. Изчислява се общото време за чакане за всяка комбинация на зелени сигнали в интервалите със стъпка 2 секунди. Избира се за оптимално разпределение на зелените сигнали тази комбинация от тях, при която общото време за чакане е минимално.

И в двата етапа изчисленията се провеждат само за комбинации удовлетворяващи ограничителните условия.

При изчисленията сумата на времената за зелени сигнали към потоците за всяка комбинация определена в етап I и етап II трябва да е равна на времето за промяна определено по формула 2.22.

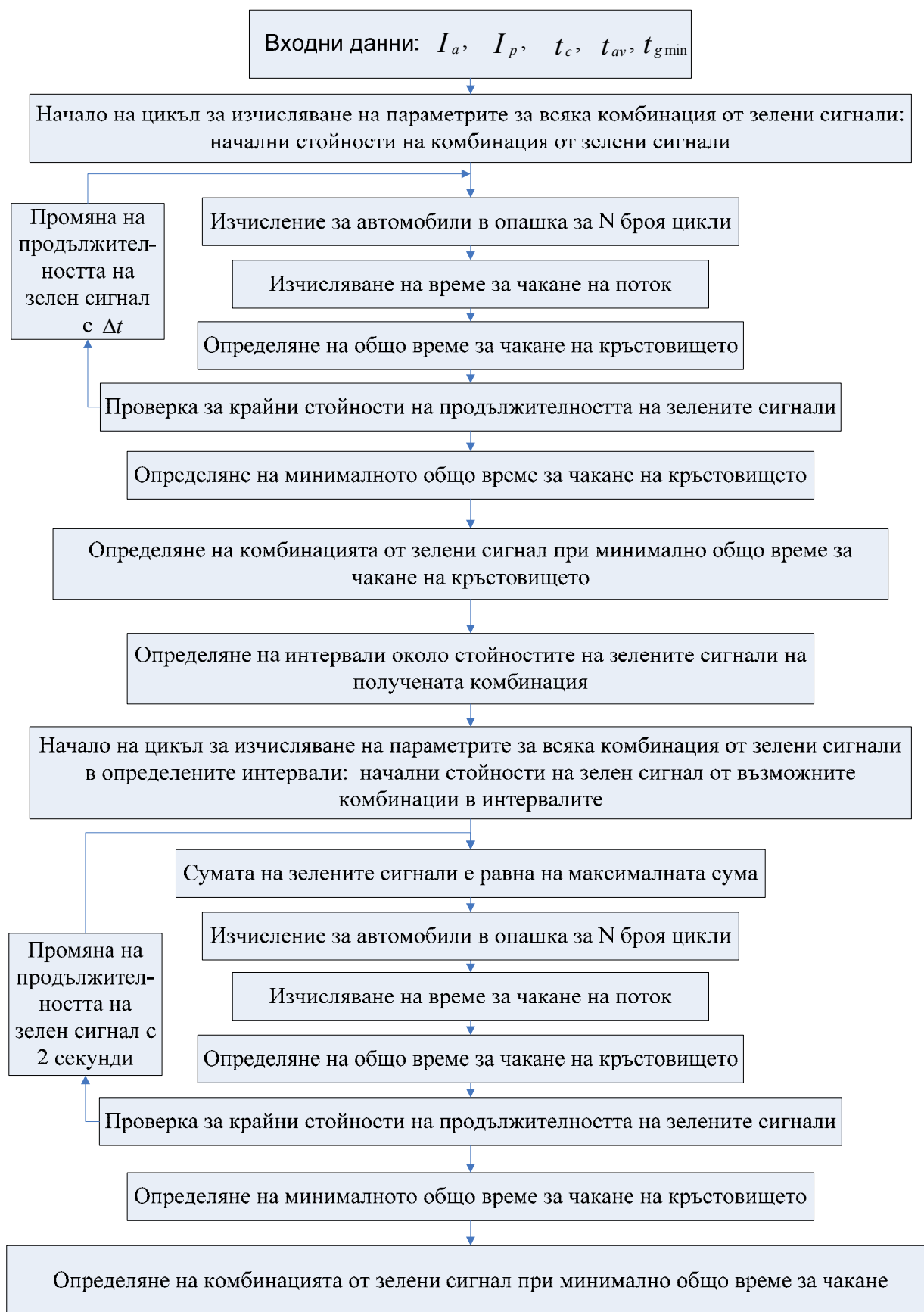
Входен параметър при изчисленията за време за чакане на поток е броят на автомобили в опашка  $Q$  за  $N$  броя цикли:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= I_a^f * t_c - I_p^f * t_g, \text{ бр. авт.} \\
 Q_2 &= (I_a^f * t_c - I_p^f * t_g) + Q_1, \text{ бр. авт.} \\
 &\quad \cdot \\
 &\quad \cdot \\
 Q_N &= (I_a^f * t_c - I_p^f * t_g) + Q_{N-1}, \text{ бр. авт.}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

където  $Q_{1,2,\dots,N}$  е дължина на опашката съответно за първия, втория и т. н.  $N$ -ти цикъл на светофарната уредба.

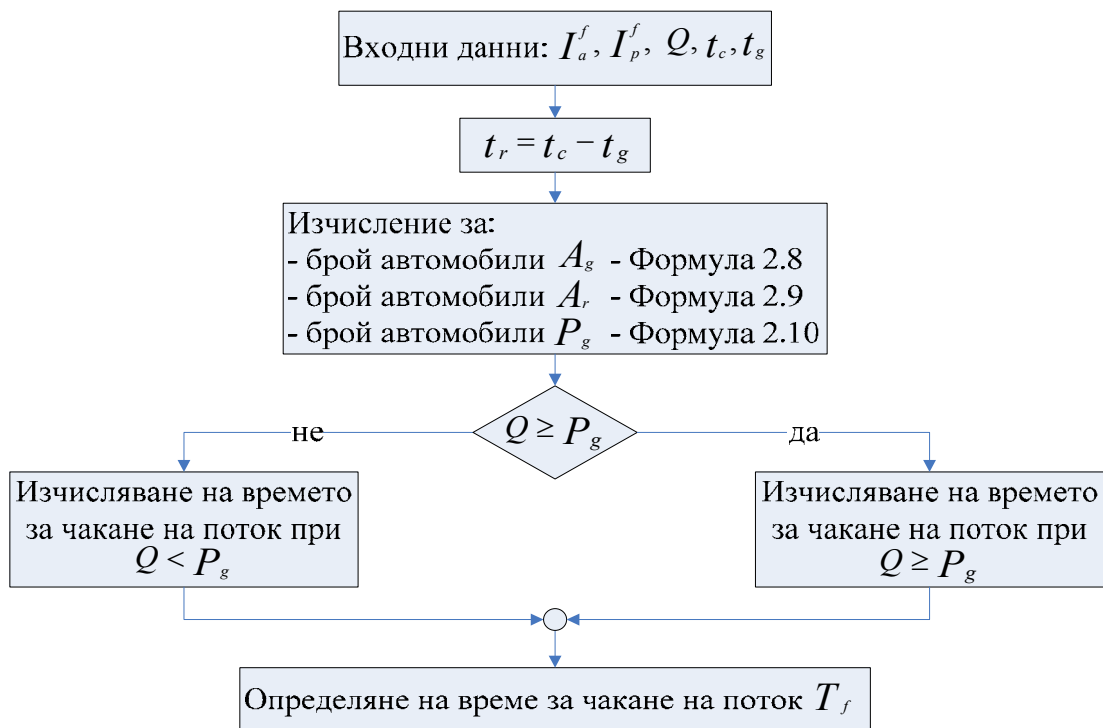
За начална стойност на  $Q$  се приема първоначалната опашка определена от броя на пристигналите и преминалите автомобили за съответния цикъл. Броят на циклите  $N$  е равен на определения по формула 2.7 (2.14) брой цикли  $K(K')$ .

Блок-схема на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите е показана на фиг. 3.3.

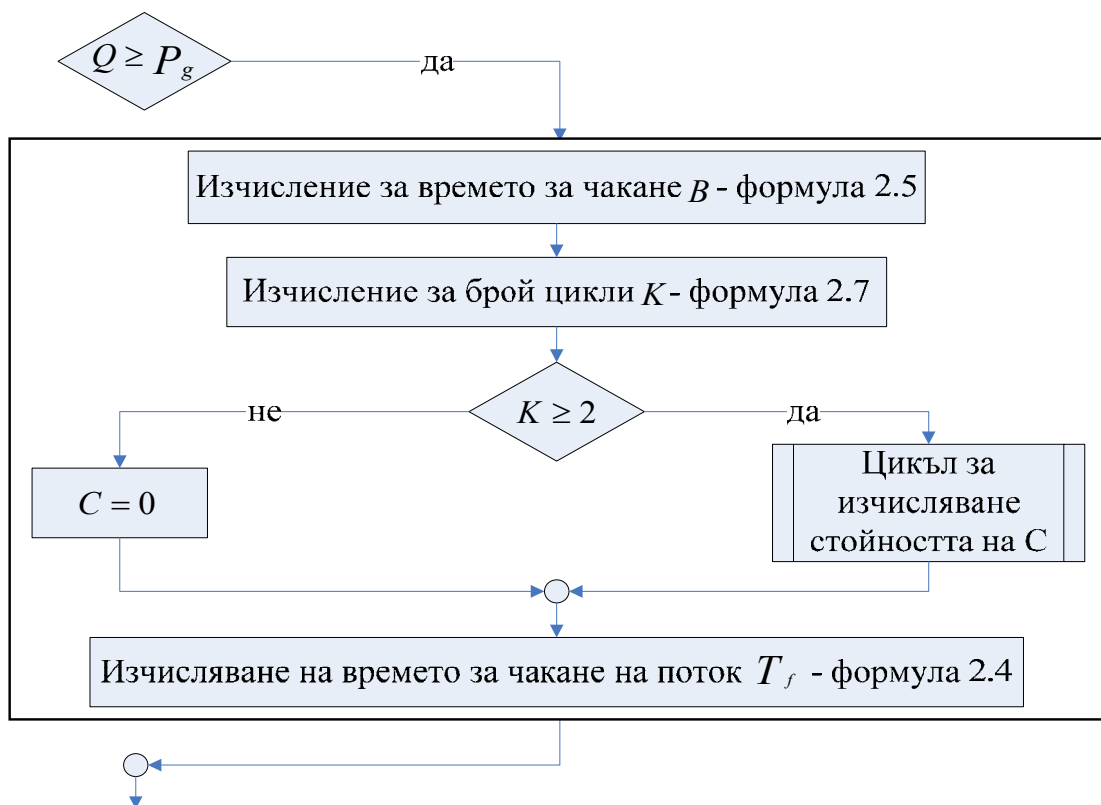


Фиг. 3.3 Алгоритъм за оптимизиране продължителността на фазите за  $t_c$

Времето за чакане на всеки поток и при двата етапа на изчисления се определя според изложеното в Глава 2 в последователност показана на фиг. 3.4, фиг. 3.5 и фиг. 3.6.

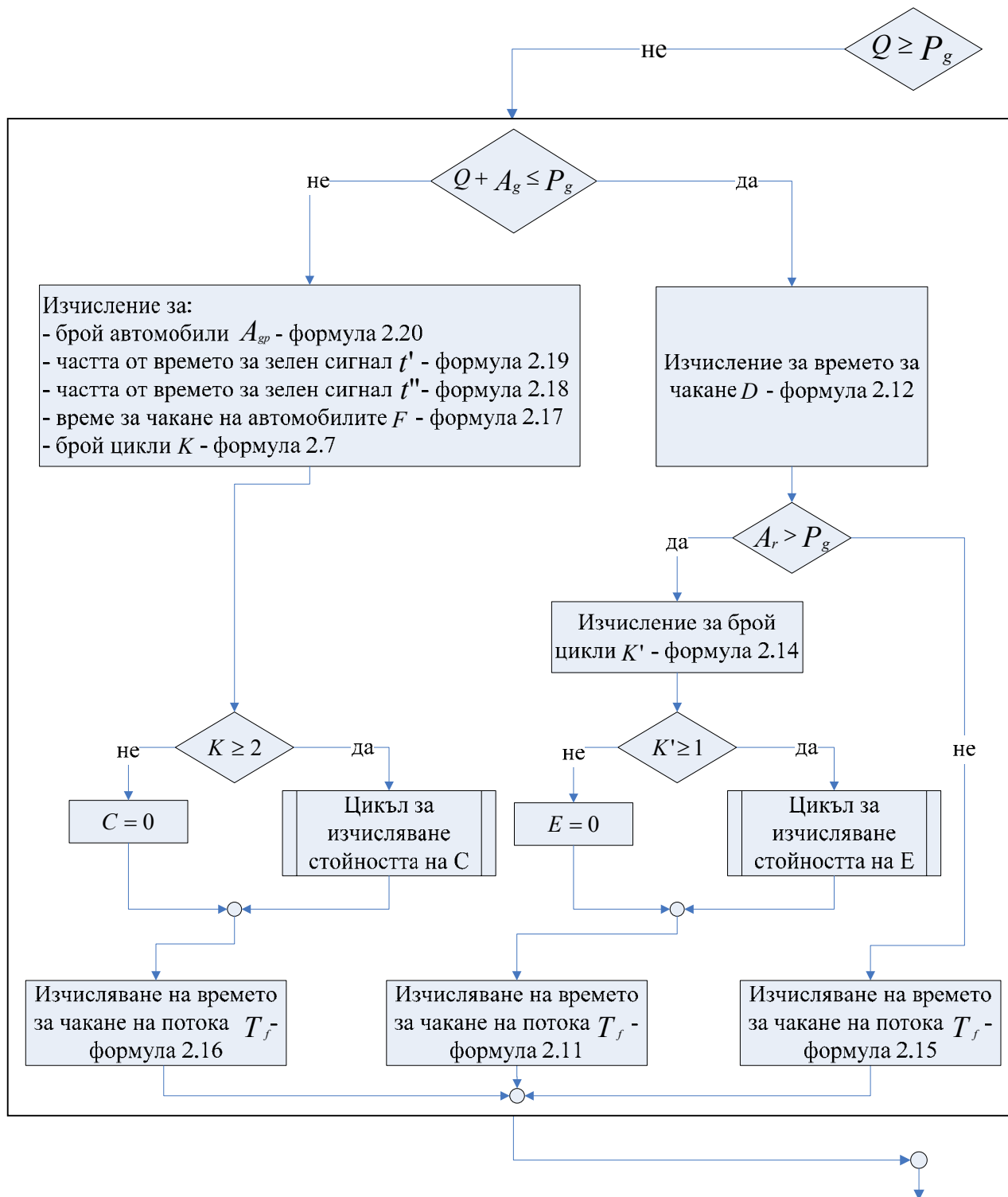


Фиг. 3.4 Алгоритъм за изчисляване на времето за чакане на поток при зададена стойност на продължителността на зеления сигнал



Фиг. 3.5 Изчисляване на времето за чакане на поток при  $Q \geq P_g$





Фиг. 3.6 Изчисляване на времето за чакане на поток при  $Q < P_g$

Разработеният алгоритъм позволява използването му при изчисления за определяне на времената за зелен сигнал на светофари и с твърд режим на управление, при което входната информация за интензивността на пристигане на автомобилите може да се получи по формула 2.1.

Алгоритъмът е приложим и за оптимизация на взаимосвързани кръстовища. В този случай оптимални са стойностите на зелените сигнали към потоците при минимално общо време за чакане на всички потоци на разглежданите кръстовища.

3.2 Разработване на алгоритъм за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази.

За кръстовища, регулиращи пропускането на движението в две фази е разработен модифициран вариант на обобщения алгоритъм за оптимизиране на времето за цикъла и продължителността на фазите при спазване на представените ограничителни условия.

При използването на алгоритъма се оптимизира продължителността на фазите за всеки от потоците, без промяна на действащия цикъл на светофарната уредба, за постигане на минимално общо време за чакане на всички потоци на кръстовището.

Теоретична постановка за оптимизиране се представя за едно четириклонно кръстовище с два потока - Поток 1  $f_1$  и Поток 2  $f_2$ . Всеки от тях представлява транспортните потоци преминаващи през кръстовището в една фаза. За всеки от потоците имаме стойност на продължителността на червения сигнал  $t_r^{f_1}$  и  $t_r^{f_2}$  при действащия цикъл на светофарната уредба и средна дължина на опашката, която се образува по време на червения сигнал –  $Q_{av}^{f_1}$  и  $Q_{av}^{f_2}$ . Стойностите на  $Q_{av}$  за съответния поток се определят според 2.3.

Определя се времето за промяна по формула 2.22, броят автомобили в опашка отнесени за една секунда на червения сигнал на светофара по формула 2.23. Изчислява се общото време за чакане на кръстовището по формула 2.28 за всеки възможен вариант на разпределение на зелените сигнали, като се променя времетраенето им през една секунда в рамките на времето за промяна, с което разполагаме (фиг. 3.7). За всеки  $i$ -ти вариант има съответна продължителност

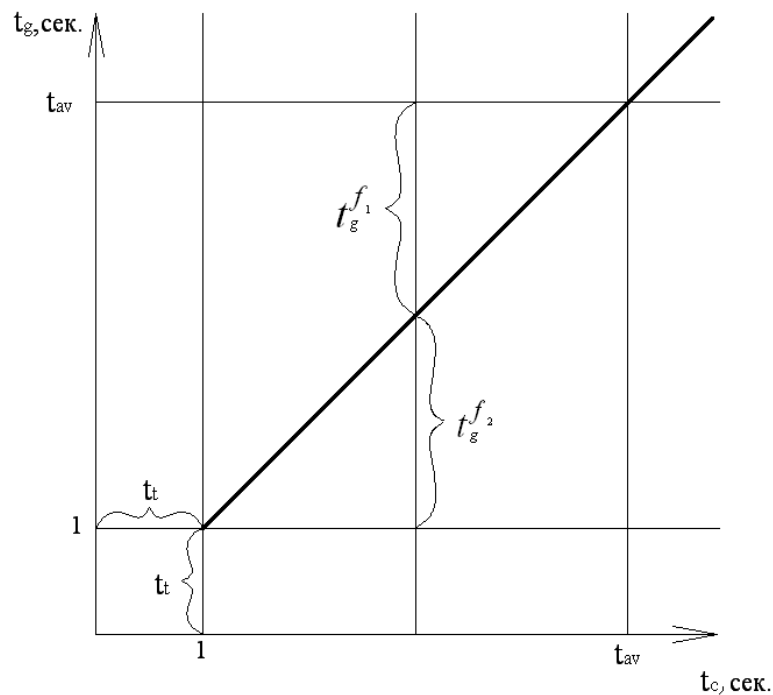
на зелените сигнали към потоците ( $t_{g_i}^{f_1}$  и  $t_{g_i}^{f_2}$ ). За тези стойности на зелените сигнали съответстват следните стойности на червени сигнали:

$$t_{g_i}^{f_1} = t_{r_i}^{f_2}, \text{ сек.} \quad (3.2)$$

$$t_{g_i}^{f_2} = t_{r_i}^{f_1}, \text{ сек.} \quad (3.3)$$

където:  $t_{r_i}^{f_1}$  е продължителността на червеният сигнал към Поток 1 за  $i$ -тия вариант на разпределение на зелените сигнали, сек.;

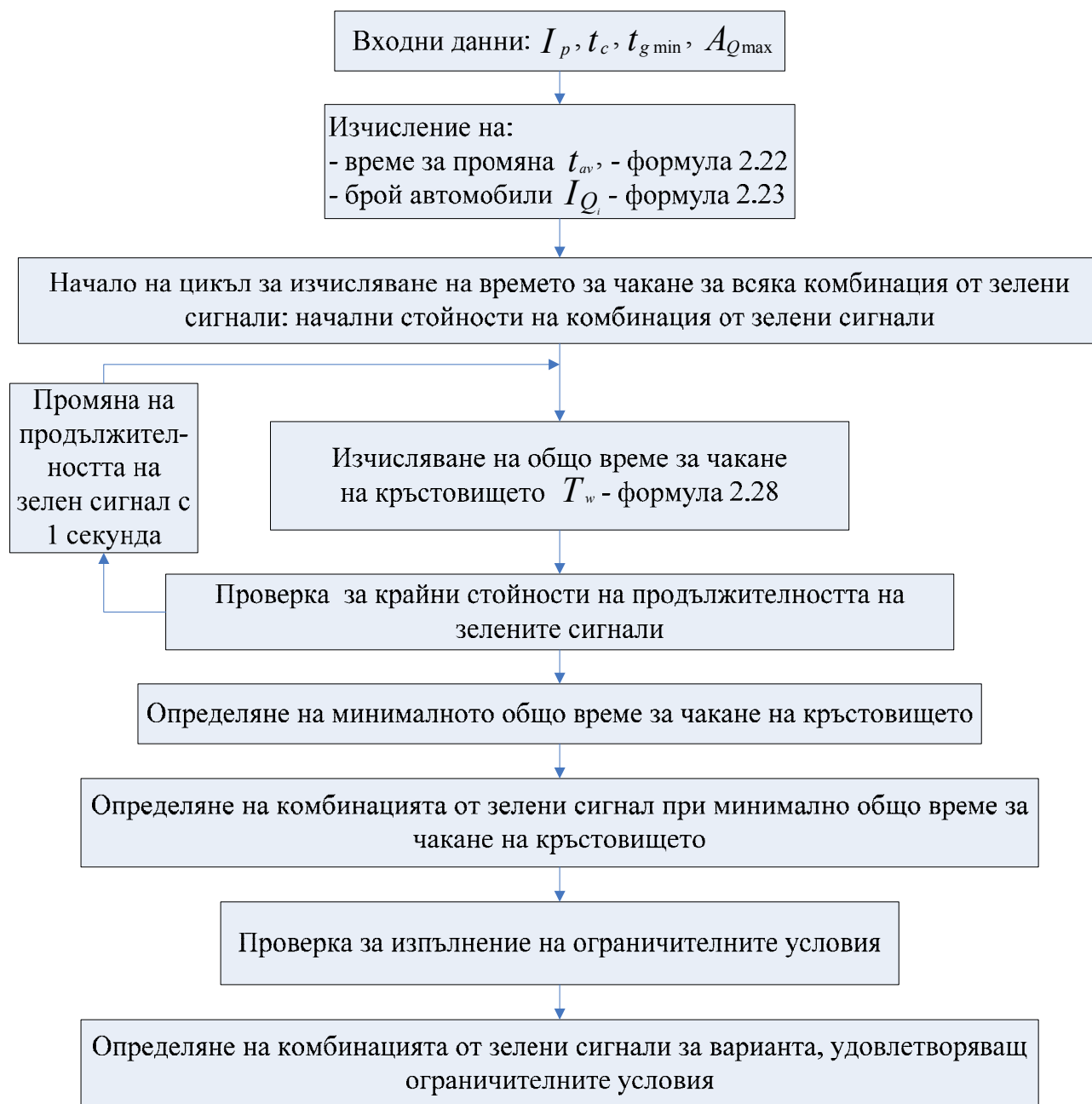
$t_{r_i}^{f_2}$  - продължителност на червеният сигнал към Поток 2, за  $i$ -тия вариант на разпределение на зелените сигнали, сек.



Фиг. 3.7 Разпределение на времената за зелен сигнал с използване на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази

При  $T_{wmin}$  имаме определени времена за зелен сигнал, както и такива за червен сигнал за съответните потоци определени по формули 3.2 и 3.3., което определя оптималното решение за продължителността на фазите на

кръстовището. Блок-схема на последователността на изчисленията е показана на фиг. 3.8.



Фиг. 3.8 Модифициран вариант на алгоритъма при оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на движението през кръстовище в две фази

За всеки от разработените алгоритми се извършва проверка за удовлетворяване на ограничителното условие за дължини на опашки за всеки от потоците при полученото решение. В случай, че то не е удовлетворено за тази комбинация от зелени сигнали към потоците се преминава към проверки

на съседните варианти около оптималното. Сравняват се стойностите за оставащите автомобили в опашка. Проверките продължават в направлението на намаляване на стойността на оставащите автомобили в опашка. Определя се този вариант на разпределение на зелените сигнали, при който се удовлетворяват условията на проверката.

Разработените алгоритми притежават следните по-важни предимства:

1. Възможността за набавяне на входна информация от транспортни детектори позволява разработените алгоритми да послужат за основа на програмното осигуряване за управление на светофарни уредби в реално време.

2. Основават се на показатели на транспортните потоци отнесени за един цикъл на светофарната уредба. Това позволява осъществяването на достатъчно точна оценка на съществуващото положение и последващата оптимизация.

3. С помощта на работа с интервали се намалява броят на комбинациите, от там и на изчисленията.

4. Броят на изчисленията и тяхната сложност създават предпоставка за широкото им използване, както при адаптивно-сигнално регулиране така и при пресмятания за светофарни уредби с твърд режим на управление.

5. Изменението със стъпка 2 секунди на зелени сигнали при изчисляване на общо време за чакане на кръстовището е с достатъчна за практиката точност.

6. Прилагането на алгоритмите позволява оптимизиране на светлинно-сигналното регулиране, както на изолирани, така и на взаимосвързани кръстовища.

## ГЛАВА 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА И ДОКАЗВАНЕ НА МОДЕЛИРАЩИТЕ АЛГОРИТМИ

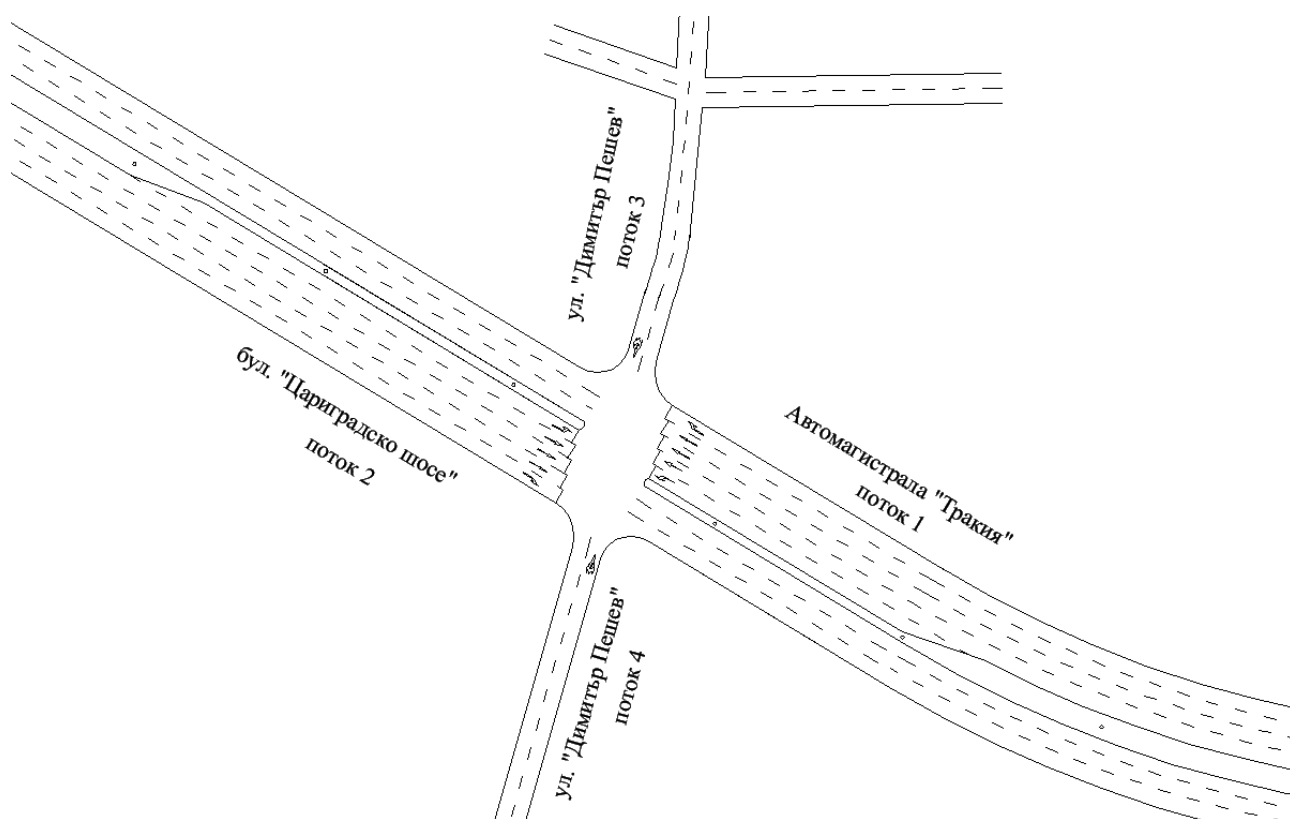
Експерименталната проверка на разработените алгоритми се извърши на избрани кръстовища в град София. Изборът се основава на проведени наблюдения върху пропускането на потоците през кръстовища в различни периоди от денонощието и установяването на такива, при които настъпват аварийни ситуации. Проверката на алгоритъма за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба се извърши на едно от най-натоварените кръстовища на територията на град София. Това е пътният възел на бул. „Цариградско шосе” и улица „Димитър Пешев” в столичния комплекс „Дружба 2”. Проверката на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази се извърши на кръстовището между бул. „Цариградско шосе” и ж.к. „Дружба 1”, което поема основния трафик от автомобили от и за ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”.

4.1 Експериментална проверка на алгоритъма за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище

През кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и улица „Димитър Пешев” се осъществява транспортната връзка между комплексите ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”, и кв. „Горубляне”. Транспортният възел поема основния транспортен поток от автомобили от и за бул. „Цариградско шосе”. То е и изход от столицата посока автомагистрала „Тракия”. Преминаването на потоците през кръстовището се регулира със светлинна сигнализация. Схема на кръстовището е показана на фиг. 4.1.

След проведени наблюдения се установи, че по време на вечерните пикови периоди на денонощието, в дните от седмицата Петък и Неделя натоварването на разглежданото кръстовище е голямо. В делничния ден Петък от бул. „Цариградско шосе” в посока към автомагистрала „Тракия” и в ден

Неделя от автомагистрала „Тракия” в посока към бул. „Цариградско шосе” се образуват опашки от автомобили с голяма дължина, които пречат на нормалното функциониране на кръстовището.



Фиг. 4.1 Схема и идентификация на транспортните потоци на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”

За целите на изследването и експерименталната проверка на алгоритъма приемам транспортните потоците да са със следната идентификация (фиг. 4.1), независимо от тяхното направление след преминаване през кръстовището:

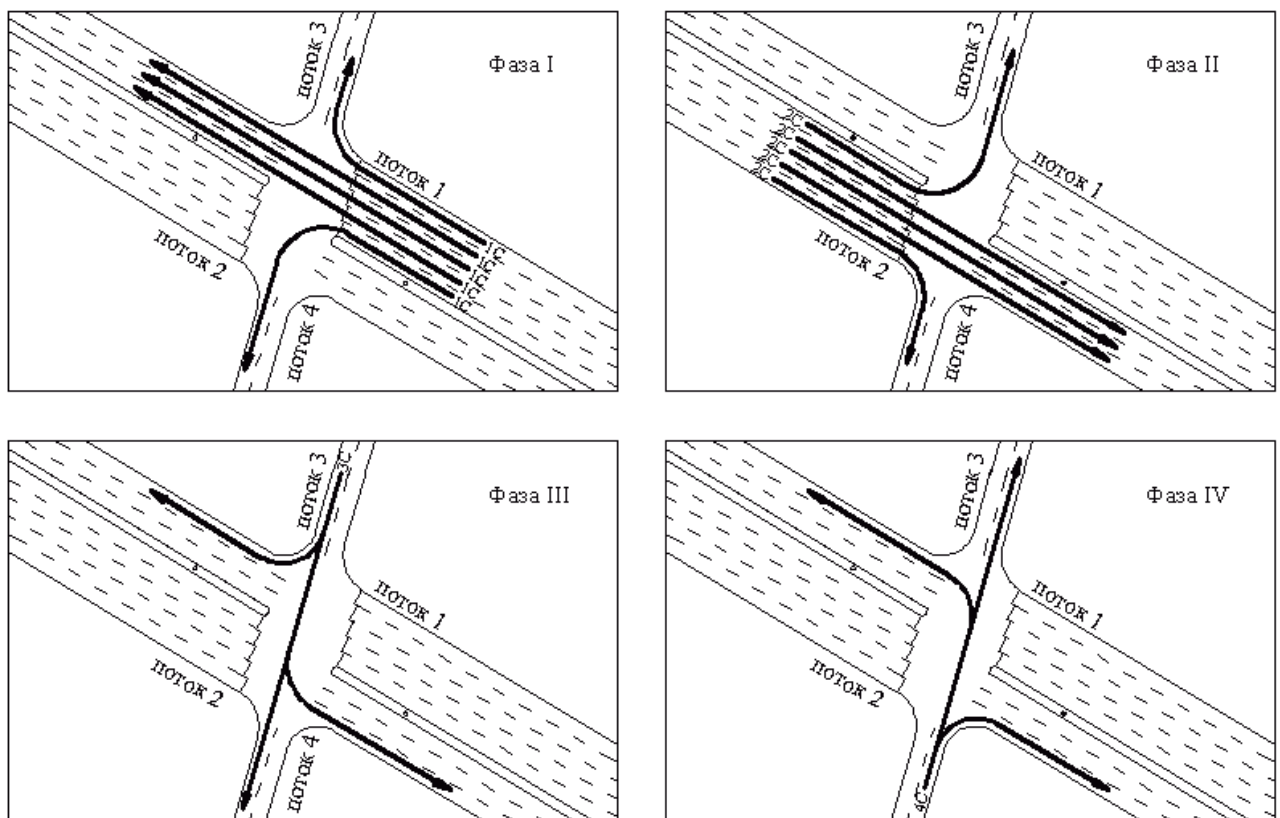
- поток 1 – автомобилите във входа на кръстовището от към автомагистрала „Тракия”;
- поток 2 – автомобилите във входа на кръстовището от към бул. „Цариградско шосе”;
- поток 3 – автомобилите във входа на кръстовището от към ж.к. „Дружба”;
- поток 4 – автомобилите във входа на кръстовището от към кв. „Горубляне”.

Стойностите на необходимите входни данни за алгоритъма се установиха след проведени изследвания за:

- плана на фазите и светофарния цикъл на кръстовището;
- интензивността на транспортните потоци, пристигащи към четирите входа на кръстовището;
- пропускателната способност за всеки от клоновете на кръстовището;
- дължините на опашките за отделните входове на кръстовището.

Изследването относно плана на фазите и светофарния цикъл на кръстовището включва определяне на броя, вида и продължителността на фазите, прилежащите междинни времена и цикъла на светофарната уредба. Установи се, че потоците се пропускат в четири фази за всеки клон от разглежданото кръстовище (фиг. 4.2).

Продължителността на фазите е еднаква за дните от Понеделник до Събота. За ден Неделя се определя друга продължителност на фазите (Таблица 4.1). Продължителността на междинните времена за всяка фаза е 6 секунди. Светофарният цикъл е еднакъв през цялата седмица и е 120 секунди.



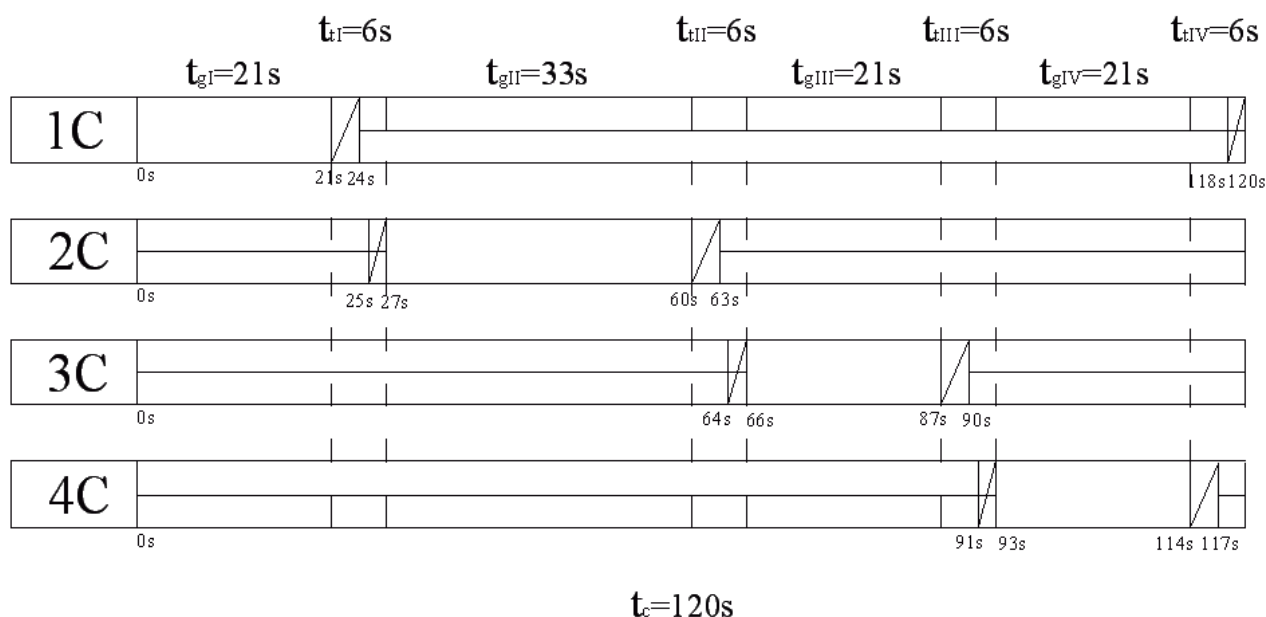
Фиг. 4.2 План на фазите на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”



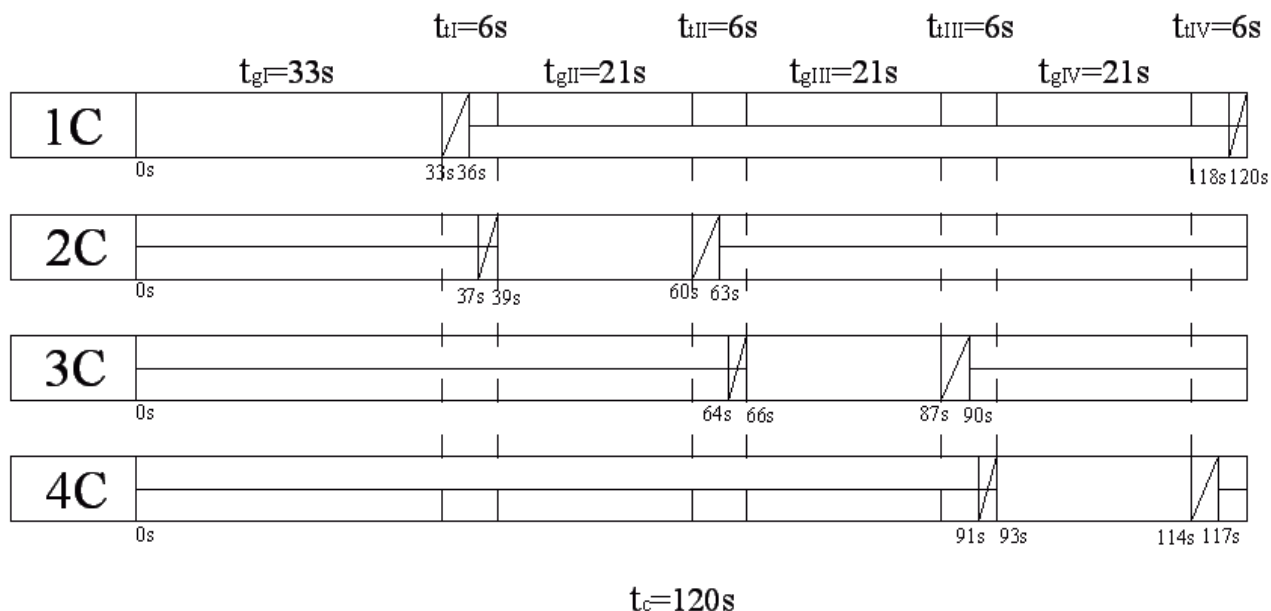
Таблица 4.1 Продължителност на фазите на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”

Фаза №	Продължителност на фазите, сек.	
	Понеделник - Събота	Неделя
Фаза I	27	39
Фаза II	39	27
Фаза III	27	27
Фаза IV	27	27

Продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба при съществуващите условия на движение са онагледени графично чрез циклограмите показани на фиг. 4.3 за дните от Понеделник до Събота и на фиг. 4.4 за ден Неделя. Пропускането на пешеходците не е указано в представените циклограми и плана на фазите, тъй като времената за това не са обект на оптимизация в настоящия алгоритъм. Освен това видът и продължителността на отделните фази са такива, че осигуряват преминаването на пешеходците във всички посоки. Това ще се отчете при спазване на едно от ограничителните условия за пропускане на пешеходците отбелязани в Глава 3.



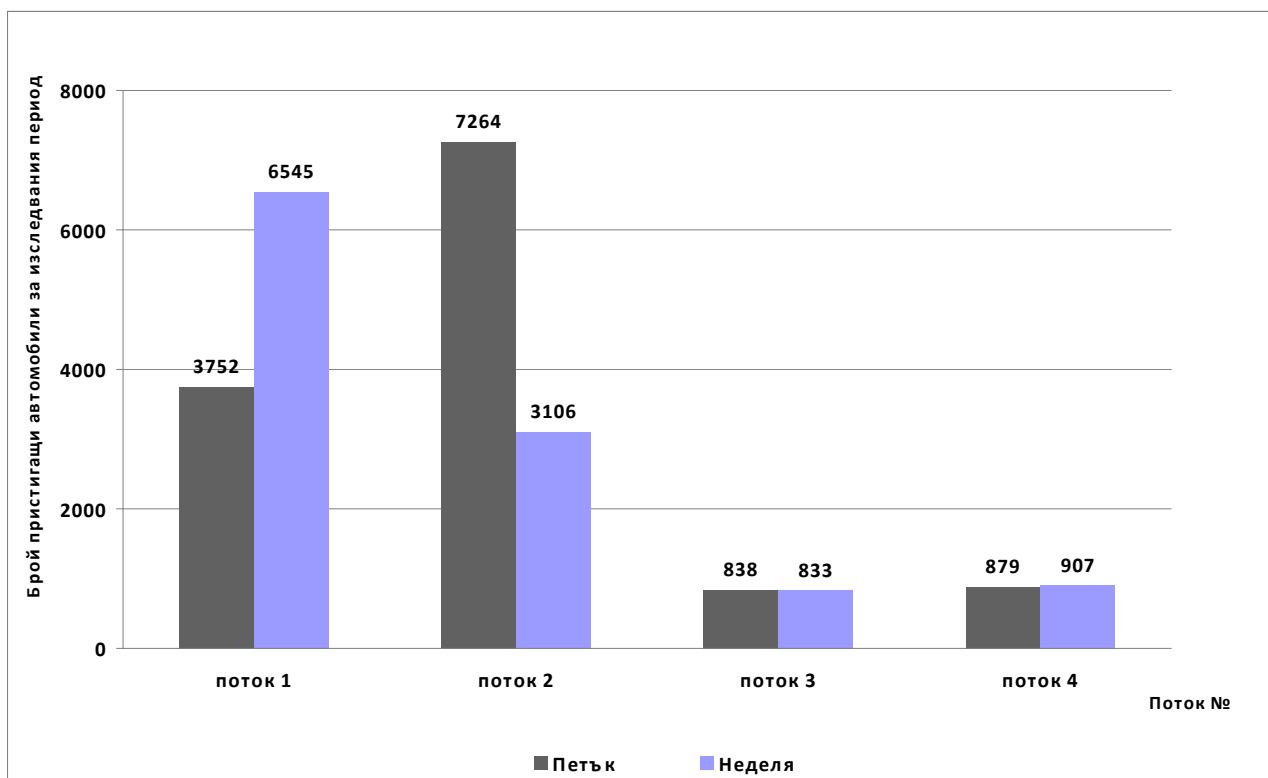
Фиг. 4.3 Съществуваща циклограма на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за дните от Понеделник до Събота



Фиг. 4.4 Съществуваща циклограма на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

Интензивността на транспортните потоци е установена чрез наблюдение по метода описан в Глава 2. Преброяват се автомобилите, които пристигат към съответните входове на кръстовището на всеки интервал от три минути в рамките на период от 180 минути между 17:00 и 20:00 часа в дните Петък и Неделя. Резултатите от проведеното изследване са показани в Приложение I в таблица III.1 и фигури от III.1 до III.4 – за ден Петък, и таблица III.2 и фигури от III.5 до III.8 за ден Неделя.

Анализът на резултатите показва интензивност на поток 2 (от бул. „Цариградско шосе”) за ден Петък 7264 автомобили за 180 минути, което надвишава близо два пъти, тези от поток 1 (от автомагистрала „Тракия”) със стойности 3752 автомобили за същия период. Подобно е положението и за ден Неделя с реверсивност на резултатите от 6545 автомобили за поток 1 и 3106 автомобили за поток 2. Броят на автомобилите от поток 3 (от ж.к. „Дружба”) и в двата дни от седмицата е приблизително един и същ – 838 бр. за ден Петък и 833 бр. за ден Неделя. Аналогично е положението и за поток 4 (от кв. „Горубляне”) със стойности 879 автомобили за ден Петък и 907 автомобили за ден Неделя. Резултатите за периода на изследване за дните Петък и Неделя са онагледени на фиг. 4.5.



Фиг. 4.5 Интензивност на транспортните потоци в периода на изследването на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за дните Петък и Неделя

Съобразно получените резултати за всеки от дните на изследването се определиха стойности за интензивността на отделните потоци по формула 2.1, които са показани в таблица 4.2.

Таблица 4.2 Интензивност на транспортните потоци на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”

Поток №	Интензивност $I_a^f$ , а/сек.	
	Петък	Неделя
поток 1	0,35	0,61
поток 2	0,67	0,29
поток 3	0,08	0,08
поток 4	0,08	0,08

Пропускателната способност за съответните клонове на кръстовището е определена чрез изследване, което включва измерване на стойности за изчисляване на пропускателната способност по формула 2.2. Резултатите от проведените изследвания са показани в Приложение I, в таблици от III.3 до III.6 – за ден Петък и в таблици от III.7 до III.10 – за ден Неделя. За клоновете на разглежданото кръстовище се определиха стойности за пропускателната способност за всеки от дните на изследването представени в таблица 4.3.

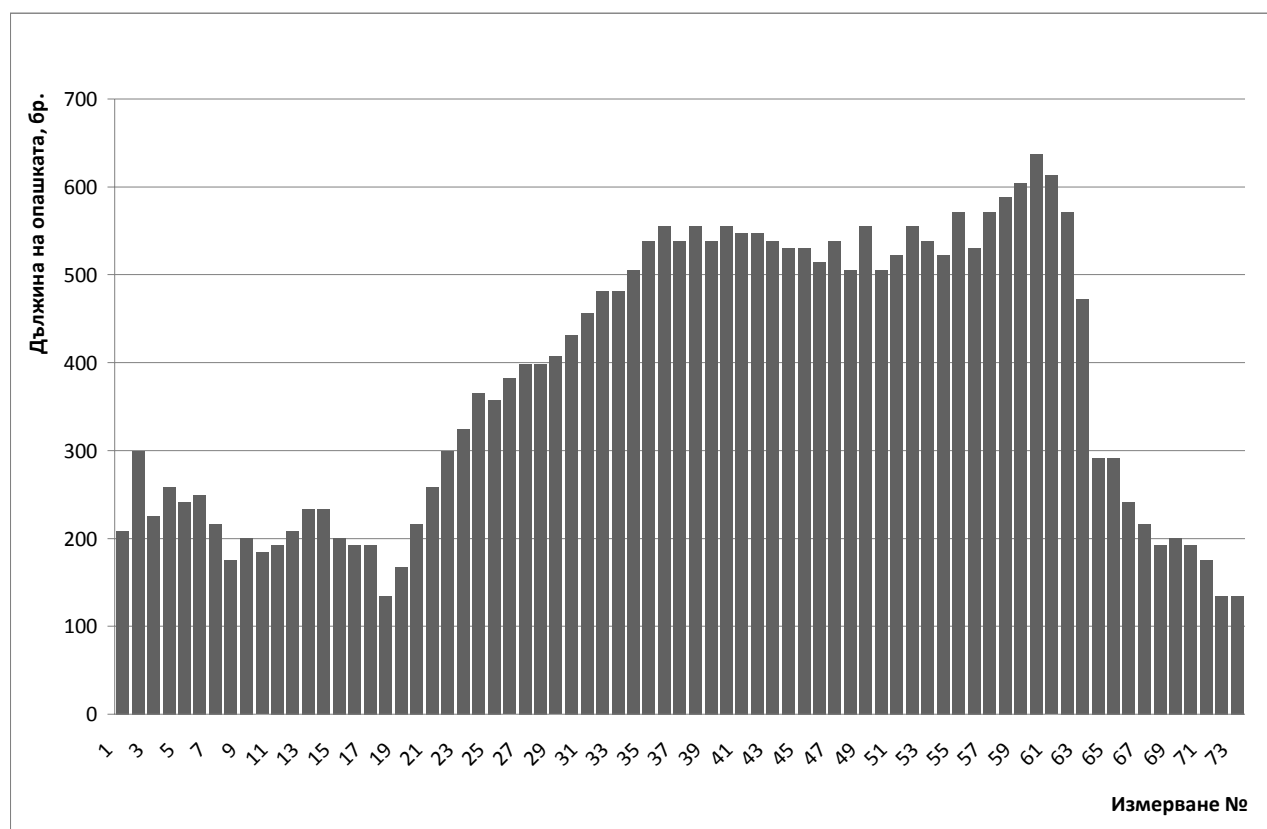
Таблица 4.3 Пропускателна способност на отделните клонове на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”

Клон на кръстовището	Пропускателна способност $I_p^f$ , а/сек.	
	Петък	Неделя
От към автомагистрала „Тракия”	1,88	1,30
От към бул. „Цариградско шосе”	2,31	1,95
От към „ж.к. „Дружба”	0,46	0,70
От към кв. „Горубляне”	0,46	0,70

За разглежданото кръстовище се установиха дължините на опашките за всеки един от входовете. Изследването включва преброяване на спрелите автомобили при светване на зелен сигнал на светофара за съответната фаза в рамките на изследвания период от 17:00 до 20:00 часа в дните Петък и Неделя. Резултатите от изследването за всички потоци са показани в Приложение I, в таблица III.11 и фигури от III.9 до III.12 – за ден Петък, и в таблица от III.12 и фигури от III.13 до III.16 – за ден Неделя.

Анализът на резултатите показва, че в ден Петък дължината на опашката за поток 2 (от бул. „Цариградско шосе”) е в порядъка на 300 автомобили за интервала от 17:00 до 18:00 часа. В интервала от 18:00 до 19:00 часа тя нараства постепенно до около 640 автомобили и рязко намалява до 135 автомобили от 19:00 до 20:00 часа (фиг. 4.6). За същия поток дължината на опашката в ден

Неделя достига максимална стойност от 135 автомобила, като в целия интервал от 17:00 до 20:00 часа нейната стойност е около 100 автомобила.

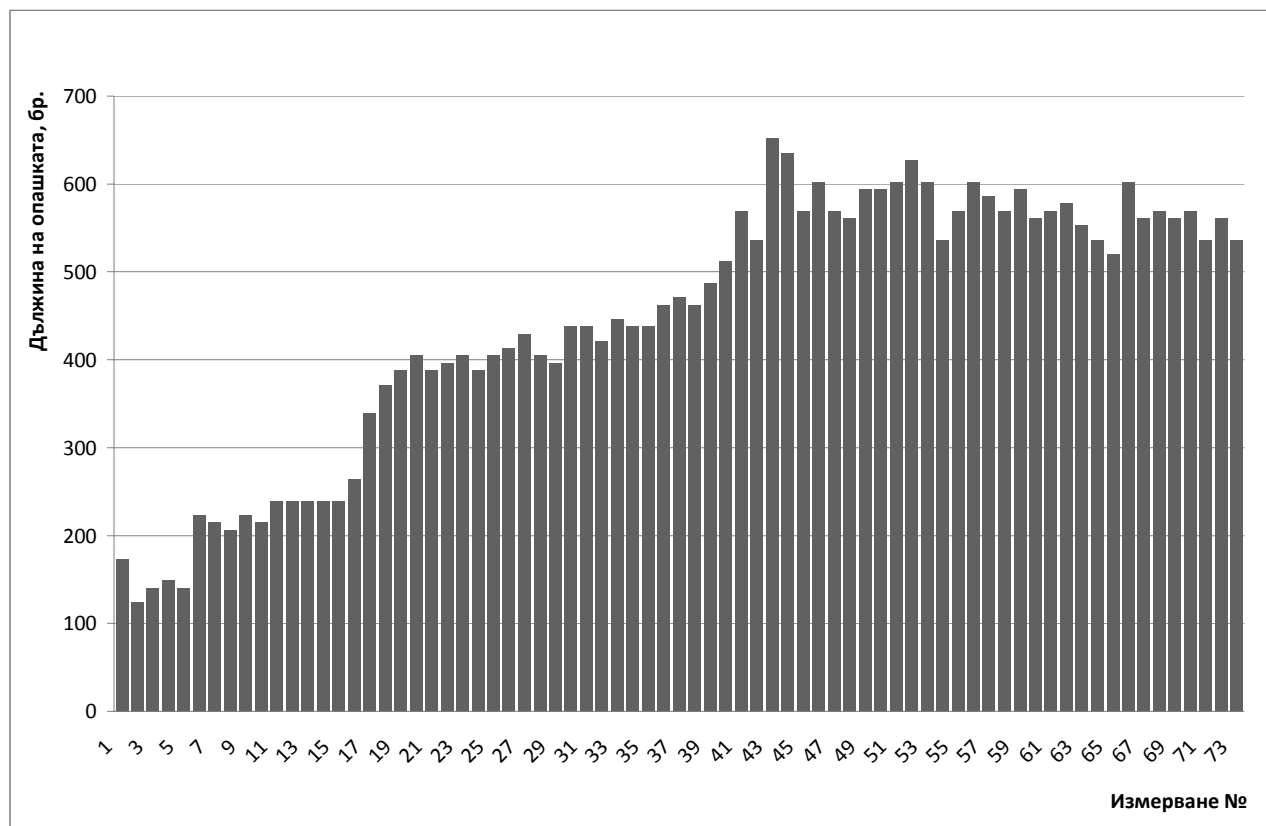


Фиг. 4.6 Дължина на опашката за поток 2 за ден Петък

За поток 1 (от автомагистрала „Тракия“) в ден Неделя от 17:00 до 18:00 часа броят на автомобилите в опашка достига стойност от около 650 автомобила. В интервала от 18.00 до 19.00 часа опашката не се изменя значително от тази стойност и в последната трета от преброяването започва постепенно да намалява, като броят на автомобилите в опашка е около 500 (фиг. 4.7). Същият поток в ден Петък е с дължина на опашката многократно по-малка, като достига максимална стойност от 240 автомобила в интервала от 17.00 до 18.00 часа. След това постепенно намалява, като в интервала от 18:00 до 20:00 часа стойностите за дължината на опашката са около 40 броя автомобили.

Дължините на опашките за останалите потоци са значително по-малки. За ден Петък в опашката на поток 3 и поток 4 чакат средно 60 автомобила при

светване на зелен сигнал на светофарната уредба за съответния поток. За ден Неделя в опашката на същите потоци чакат средно 16 автомобила.

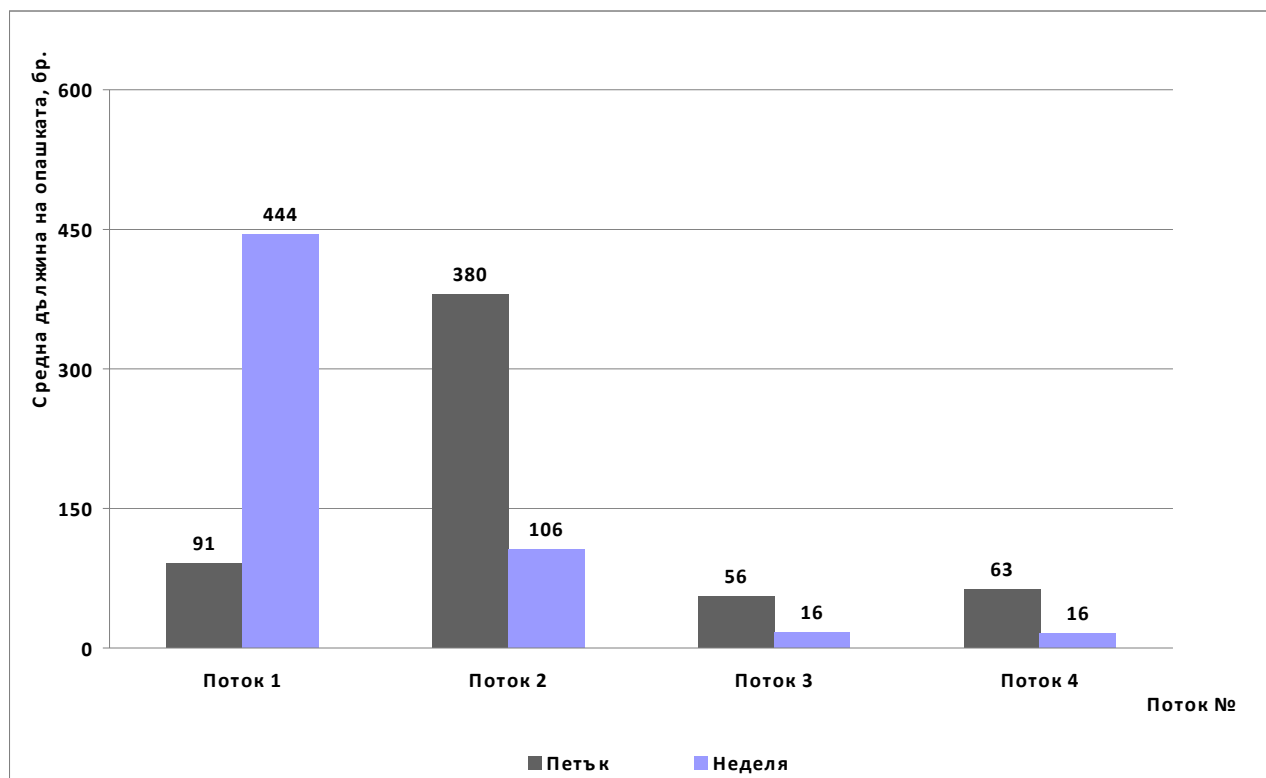


Фиг. 4.7 Дължина на опашката за поток 1 за ден Неделя

За проверката на моделиращия алгоритъм за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище определям дължина на опашка съобразно формула 2.3, като резултатите са показани в таблица 4.4 и на фиг. 4.8.

Таблица 4.4 Средни дължини на опашките на транспортните потоци на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев”

Поток №	Дължина на опашката $Q_{av}$ , бр.	
	Петък	Неделя
поток 1	91	444
поток 2	380	106
поток 3	56	16
поток 4	63	16



Фиг. 4.8 Средни дължини на опашките на транспортните потоци на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за дните Петък и Неделя

Максималната продължителност на цикъла на светофарната уредба се определи съобразно изискванията регламентирани в [15], а именно 120 секунди. Минималната продължителност на цикъла се определи според минималното време за зелен сигнал, което приемам 8 секунди с оглед на показателите на транспортните потоци и възможността за преминаване на пешеходците в отделните фази. Стъпката на промяна на цикъла приемам да е минималната продължителност на една фаза при пропускане на пътни превозни средства, съобразно определената в [15]. Според това цикълът ще се променя от 56 до 120 секунди през интервал от 8 секунди при запазване на междинните времена за всяка фаза.

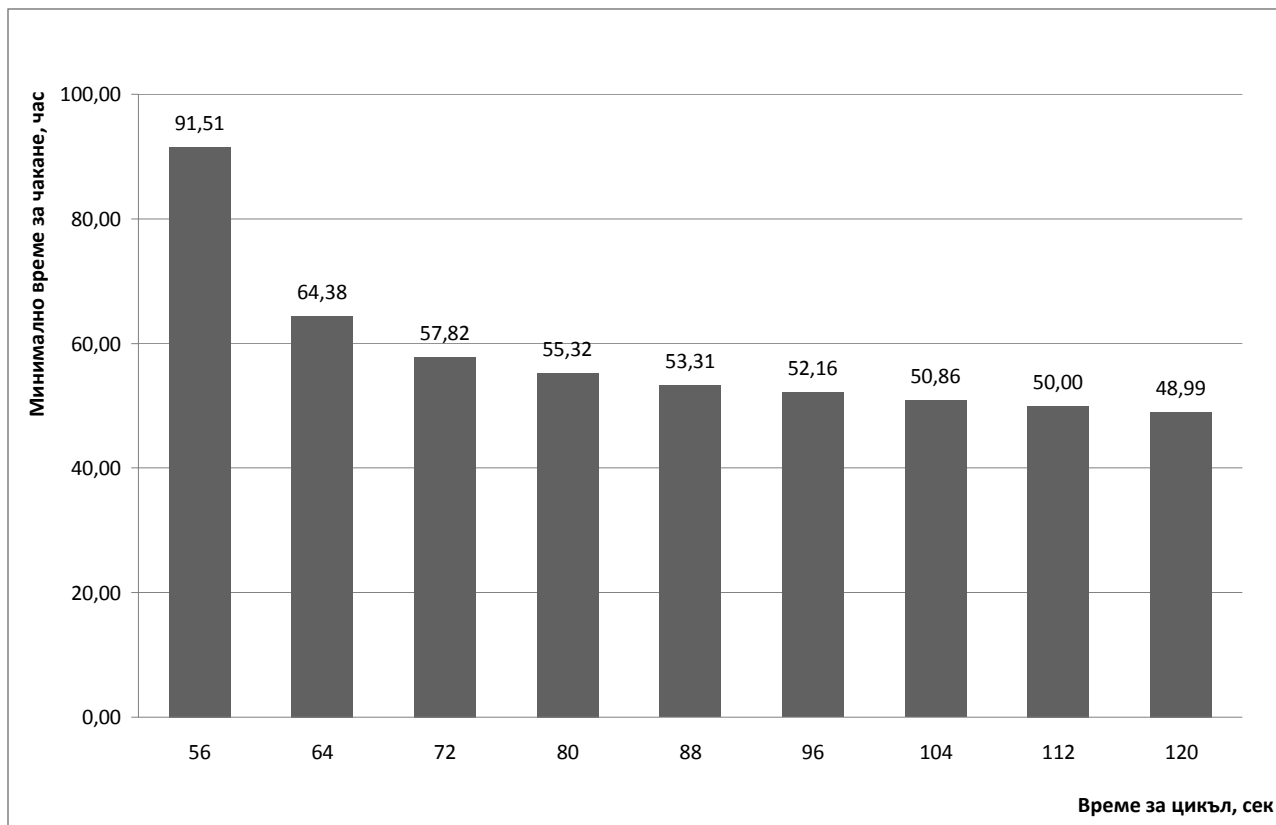
Изчисленията за проверка на моделирания алгоритъм за оптимизиране на продължителността на цикъла и фазите на светофарна уредба са показани в Приложение II (диск), във файлове от ПШ.1 до ПШ.9 за ден Петък и от ПШ.10 до ПШ.18 за ден Неделя.

Резултатите от оптимизирането на продължителността на фазите на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” при различни стойности на продължителност на цикъла са показани в таблица 4.5 и фиг. 4.9 за ден Петък, и таблица 4.6 и фиг. 4.10 за ден Неделя. Вижда се, че с всяка промяна на времето за цикъл с определената стъпка, времето за чакане има тенденция за намаляване като минимума се постига при време за цикъл от 120 секунди. При съответното разпределение на времената за зелен сигнал минималното време за чакане на всички потоци на кръстовището е 48,99 часа за ден Петък и 54,17 часа за ден Неделя, при което е необходимо прилагане на фази с различна продължителност за дните от Понеделник до Събота и за ден Неделя.

Таблица 4.5 Резултати от оптимизирането на продължителността на фазите при различни стойности на продължителност на цикъла за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Петък

$t_c$ , сек.	Продължителност на фазите, сек.				$T_{wmin}$ , час
	Фаза I	Фаза II	Фаза III	Фаза IV	
56	14	14	14	14	91,51
64	14	22	14	14	64,38
72	14	30	14	14	57,82
80	14	34	16	16	55,32
88	16	38	16	18	53,31
96	18	42	18	18	52,16
104	18	46	20	20	50,86
112	20	50	20	22	50,00
120	20	56	22	22	48,99

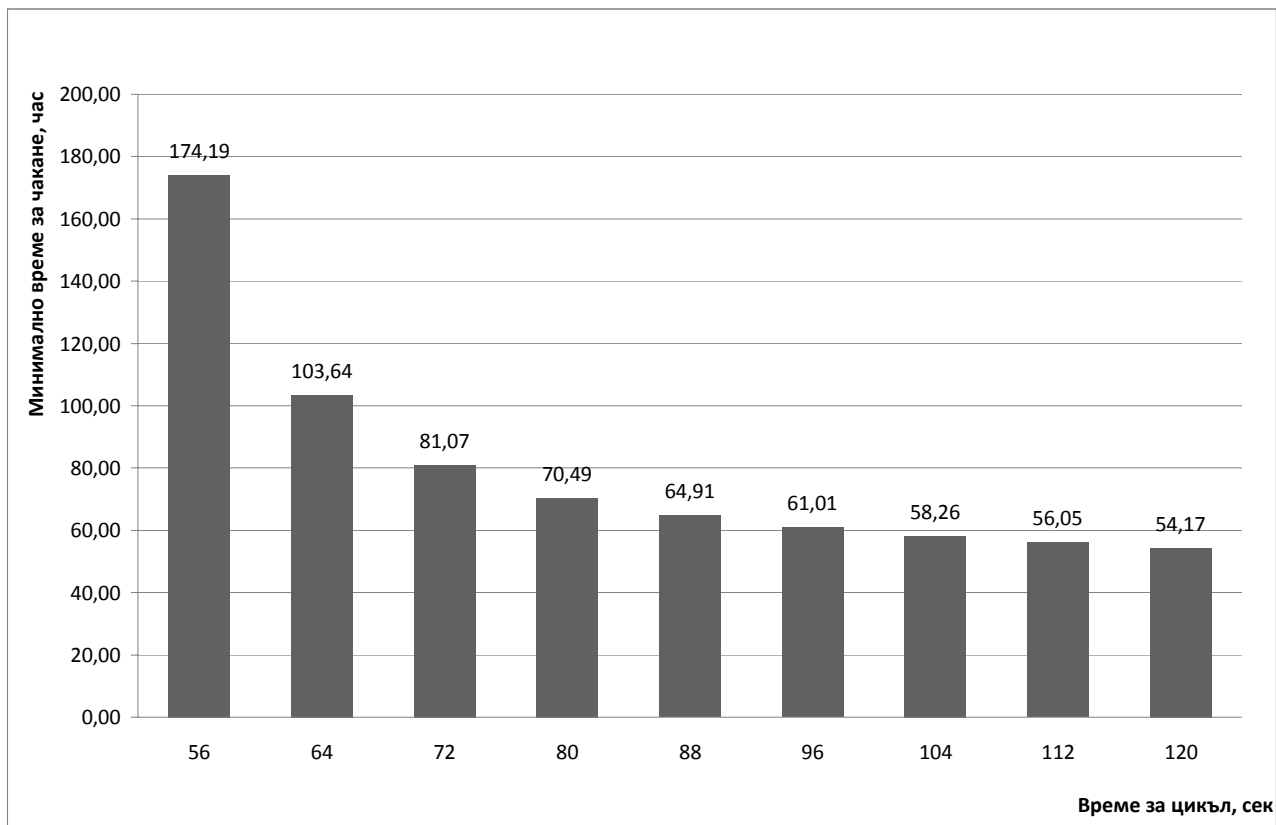




Фиг.4.9 Изменение на минималното време за чакане при промяна продължителността на цикъла за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Петък

Таблица 4.6 Резултати от оптимизирането на продължителността на фазите при различни стойности на продължителност на цикъла за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

$t_c$ , сек.	Продължителност на фазите, сек.				$T_{wmin}$ , час
	Фаза I	Фаза II	Фаза III	Фаза IV	
56	14	14	14	14	174,19
64	22	14	14	14	103,64
72	30	14	14	14	81,07
80	38	14	14	14	70,49
88	46	14	14	14	64,91
96	52	16	14	14	61,01
104	58	18	14	14	58,26
112	64	20	14	14	56,05
120	72	20	14	14	54,17



Фиг.4.10 Изменение на минималното време за чакане при промяна продължителността на цикъл за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

Вариантите на зелени сигнали за различните дни при удовлетворяване на критерия за минимално общо време за чакане на всички потоци на кръстовището, получени при оптимизацията съобразно алгоритъма показан на фиг. 3.2, удовлетворяват ограничителните условия посочени в Глава 2. Изпълнени са изискванията относно максималната и минимална продължителност на цикъла на светофарната уредба, минимално време за зелен сигнал за всяка фаза, определена продължителност на междинните времена както и тези свързани с осигуряване на необходимите времена за пропускане на пешеходното движение. Относно ограничителното условие свързано с броя чакащи автомобили в опашка се извършиха изчисления по формули от 2.23 до 2.26. За гранични стойности на броя автомобили в опашката за ден Петък приемам средните дължини на опашките при съществуващото положение за потоци 1, 3 и 4, съответно 91, 56 и 63 броя автомобили и половината от средната дължина на опашката за поток 2, която е 190 броя автомобили. За

гранични стойности на броя автомобили в опашката за ден Неделя приемам средните дължини на опашките при съществуващото положение за потоци 2, 3 и 4, съответно 106, 16 и 16 броя автомобили и половината от средната дължина на опашката за поток 1, която е 222 броя автомобили. По този начин ще гарантираме намаляване на опашката с 50% на потока от бул. „Цариградско шосе за ден Петък и потока от автомагистрала „Тракия” за ден Неделя, без това да влоши пропускането на останалите потоци. Резултатите от изчисленията за изпълнение на условието за определен брой автомобили в опашка са показани в таблица 4.7 и таблица 4.8. Вижда се, че ограничителното условие за определен брой чакащи автомобили в опашка е изпълнено, като във всички случаи се гарантира дължина на опашката за отделните потоци по-малка от определените гранични стойности.

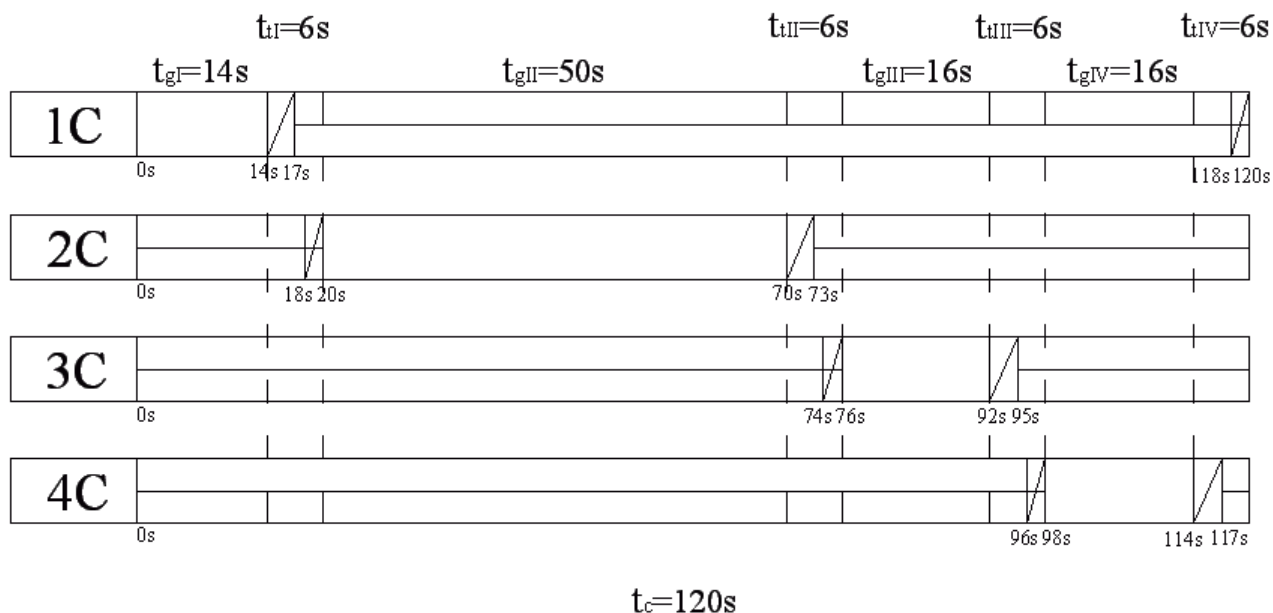
Таблица 4.7 Проверка за изпълнение на условието  $A_{Q_i}^{f_i} \leq A_{Q_{\max}}^{f_i}$  за ден Петък

Поток №	$Q_{av}^{f_i}$	$t_r^{f_i}$	$I_{Q_i}$	$t_r^{f_i}$	$Q^{f_i}$	$P_g^{f_i}$	$N_{t_c}$	$A_L$	$A_{Q_i}^{f_i}$	$A_{Q_{\max}}^{f_i}$	Изпълнение на условието
Поток 1	91	75	1,21	82	99,49	26,32	90	91	0,81	1,01	Да
Поток 2	380	63	6,03	46	277,46	115,5	90	190	1,80	2,11	Да
Поток 3	56	75	0,75	80	59,73	7,36	90	56	0,58	0,62	Да
Поток 4	63	75	0,84	80	67,20	7,36	90	63	0,66	0,70	Да

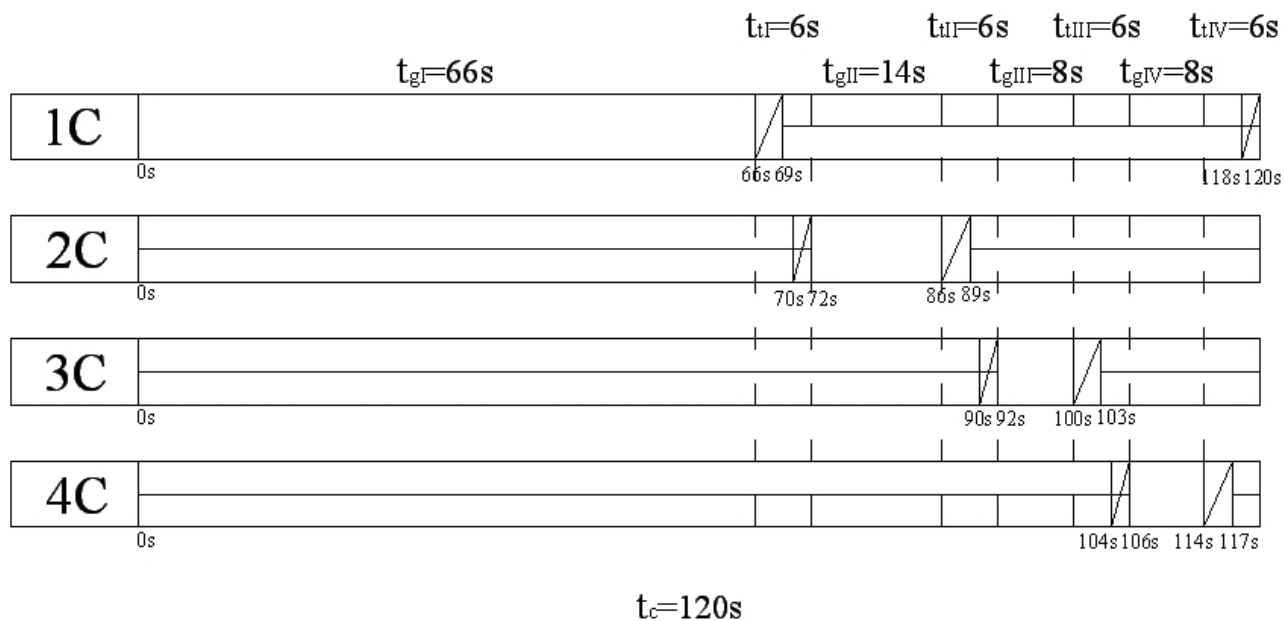
Таблица 4.8 Проверка за изпълнение на условието  $A_{Q_i}^{f_i} \leq A_{Q_{\max}}^{f_i}$  за ден Неделя

Поток №	$Q_{av}^{f_i}$	$t_r^{f_i}$	$I_{Q_i}$	$t_r^{f_i}$	$Q^{f_i}$	$P_g^{f_i}$	$N_{t_c}$	$A_L$	$A_{Q_i}^{f_i}$	$A_{Q_{\max}}^{f_i}$	Изпълнение на условието
Поток 1	444	63	7,05	30	211,43	85,80	90	222	1,40	2,47	Да
Поток 2	106	75	1,41	82	115,89	27,30	90	106	0,98	1,18	Да
Поток 3	16	75	0,21	88	18,77	5,60	90	16	0,15	0,18	Да
Поток 4	16	75	0,21	88	18,77	5,60	90	16	0,15	0,18	Да

Продължителността на цикъла, на фазите и тяхната последователност при този вариант на разпределение на зелените сигнали за различните дни са онагледени графично на фиг. 4.11 за дните от Понеделник до Събота и на фиг. 4.12 за ден Неделя.



Фиг. 4.11 Оптимизирана циклограма на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за дните от Понеделник до Събота



Фиг. 4.12 Оптимизирана циклограма на светофарната уредба на кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

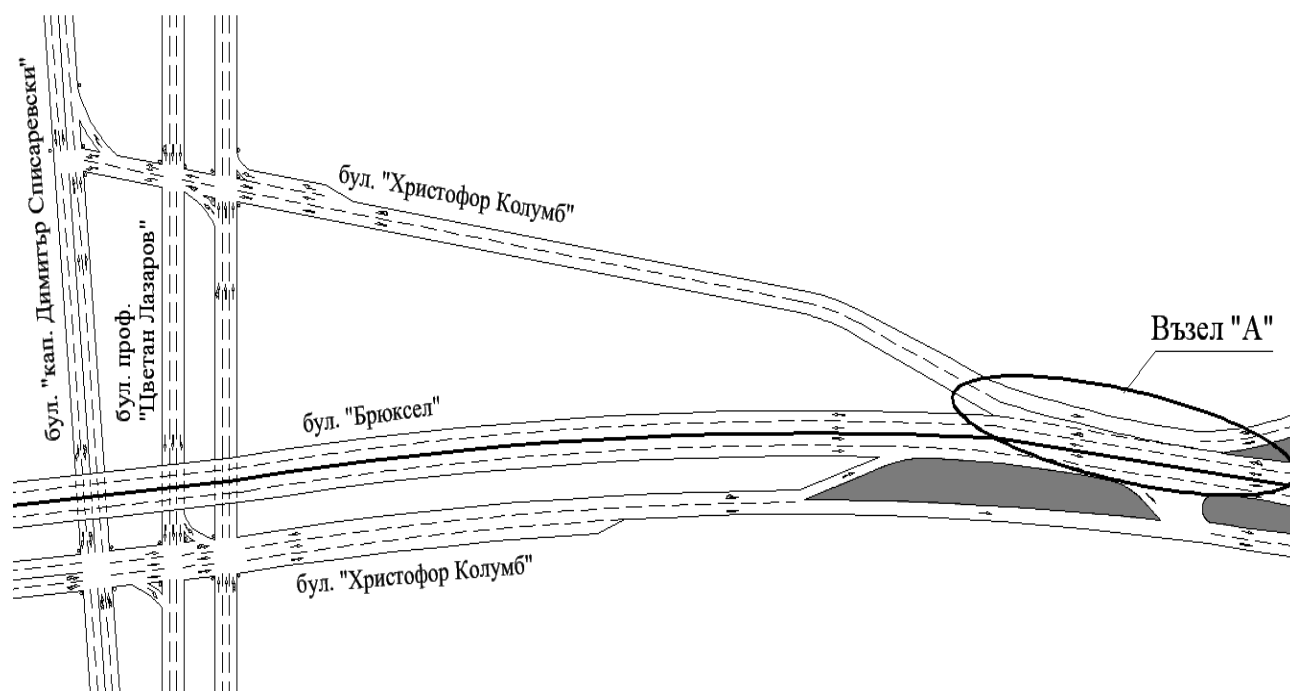
Полученото решение за продължителността на цикъла и фазите намалява общото време за чакане на всички потоци на кръстовището за изследвания период от три часа с около 16 часа за ден Петък и с около 45 часа за ден Неделя. Прилагането на получените резултати ще намали негативните последици от използването на автомобилите в градски условия като намали разхода на използваното гориво с над 45 литра за ден Петък и над 130 литра за ден Неделя или с около 17500 литра на година. Това гарантира намаляване на вредните емисии отделяни при работа на автомобилите на разглежданото кръстовище с около 13% за ден Петък и с около 45% за ден Неделя. Освен това загубата от време за чакане на пътуващите с автомобили, преминаващи кръстовището в тези дни, ще се намали с около 8000 човекочаса за една година.

Получените резултати, с използването на посочения в Глава 2 критерий и при следване на алгоритъма за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище, показан на фиг. 3.2, са предложени на Столична община за експериментална проверка. Предложението беше прието, но не беше приложено и регулирането на движението се осъществява с използване на служители на МВР в дните Петък и Неделя в разглежданите вечерни пикови периоди.

#### 4.2 Експериментална проверка на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази

Избраното кръстовище на територията на град София се намира между бул. „Цариградско шосе” и ж.к. „Дружба 1”. То поема основния трафик от автомобили от и за ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”. Най-натоварената му улица е бул. „Христофор Колумб”, която представлява и своеобразна второстепенна връзка към аерогара София.

Разглежданият участък представлява комплекс от шест по малки кръстовища, които са в голяма близост едно до друго. Това обуславя неизменната им взаимозависимост по време на работа. Схема на участъка е показана на фиг. 4.13.



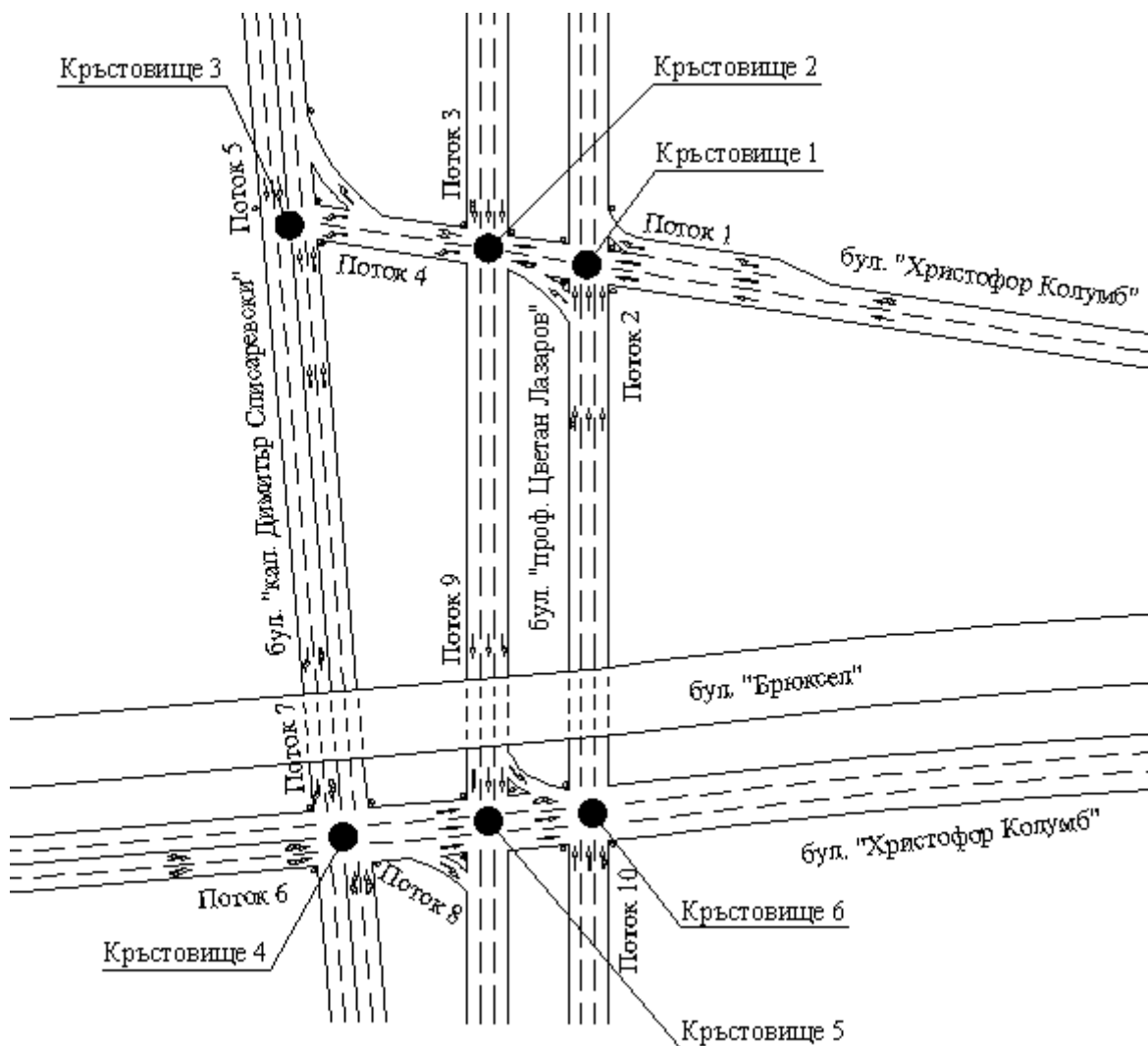
Фиг. 4.13 Схема на комплекса от кръстовища на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров”

След проведени наблюдения се установи, че по време на сутрешния и вечерния пиков период на денонощието натоварването с автомобили на разглеждания участък е много голямо като при навлизане в него по бул. „Христофор Колумб” от към бул. „Цариградско шосе” и ж.к. „Младост” се образуват опашки от автомобили, които блокират подхода към бул. „Брюксел” (Възел „А”) и нарушават нормалната му работа.

За целите на изследването и експерименталната проверка на алгоритъма приемам кръстовищата да са със следната идентификация (фиг. 4.14):

- кръстовище 1 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2” и бул. „проф. Цветан Лазаров”, посока към ж.к. „Дружба 2”;
- кръстовище 2 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и бул. „проф. Цветан Лазаров”, посока към ж.к. „Слатина”;
- кръстовище 3 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и бул. „кап. Димитър Списаревски”;

- кръстовище 4 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към бул. „Цариградско шосе” и бул. „кап. Димитър Списаревски”;
- кръстовище 5 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към бул. „Цариградско шосе” и бул. „проф. Цветан Лазаров”, посока към ж.к. „Слатина”;
- кръстовище 6 – пресечните улици на бул. „Христофор Колумб”, посока към бул. „Цариградско шосе” и бул. „проф. Цветан Лазаров”, посока към ж.к. „Дружба 2”.



Фиг. 4.14 Идентификация на кръстовищата и транспортните потоци на разглеждания участък

За всяко кръстовище приемам следното означение на транспортните потоци (фиг. 4.14), независимо от тяхното направление след преминаване през кръстовището:

- кръстовище 1 – поток 1 по бул. „Христофор Колумб” и поток 2 по бул. „проф. Цветан Лазаров”;
- кръстовище 2 – поток 3 по бул. „проф. Цветан Лазаров”;
- кръстовище 3 – поток 4 по бул. „Христофор Колумб” и поток 5 по бул. „кап. Димитър Списаревски”;
- кръстовище 4 – поток 6 по бул. „Христофор Колумб” и поток 7 по бул. „кап. Димитър Списаревски”;
- кръстовище 5 – поток 8 по бул. „Христофор Колумб” и поток 9 по бул. „проф. Цветан Лазаров”;
- кръстовище 6 – поток 10 по бул. „проф. Цветан Лазаров”.

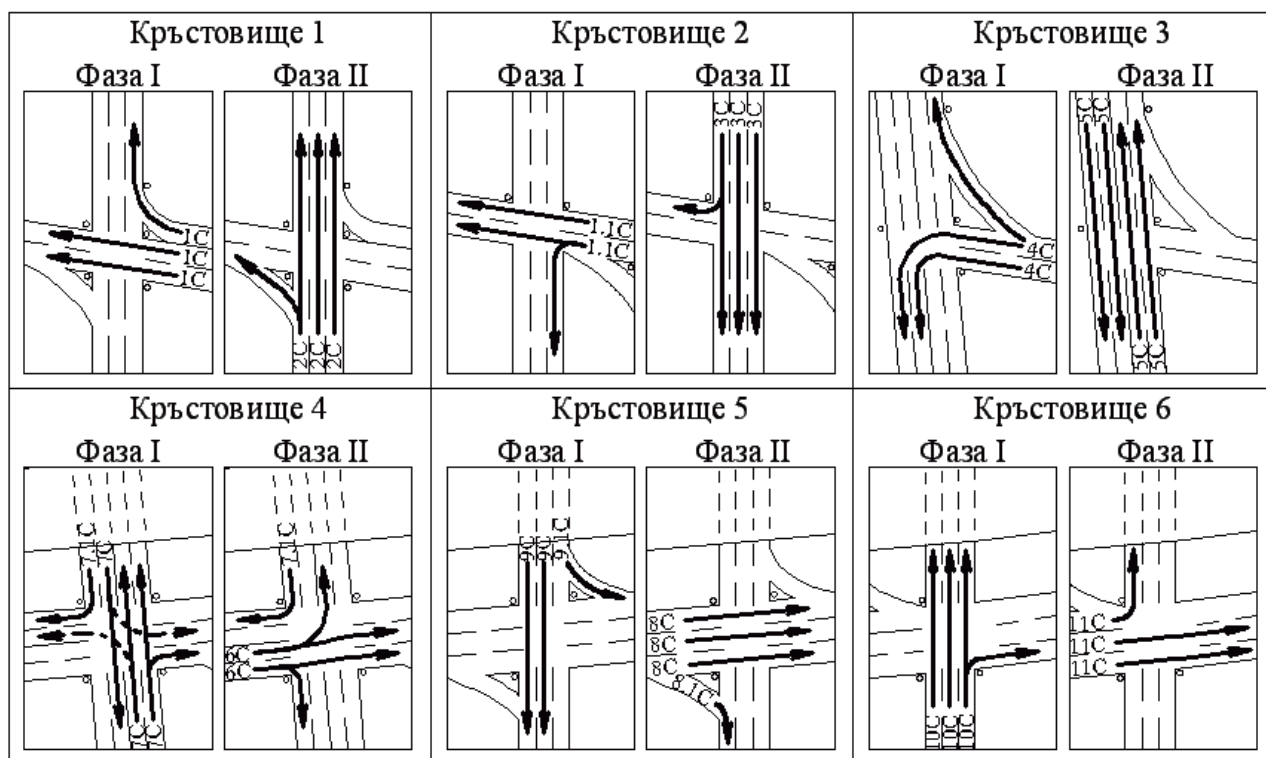
За получаване на стойности за необходимите входни данни се проведеха изследвания за:

- плана на фазите и светофарния цикъл на всяко от кръстовищата;
- дължините на опашките за отделните входове на всяко от кръстовищата;
- пропускателната способност за всеки от клоновете на кръстовищата.

Изследването свързано с плана на фазите и цикъла на светофарната уредба включва определяне на времето за цикъл, както и броя, вида, продължителността на фазите и прилежащите междинни времена за всяко от кръстовищата.

Установи се, че потоците се пропускат в две фази за всяко от кръстовищата (фиг. 4.15). Продължителността на цикъла на всяка от светофарните уредби е 60 секунди с изключение на кръстовище 5 и кръстовище 6, при които цикълът е 66 секунди. Продължителността на фазите е различна за различните кръстовища, което е онагледено в таблица 4.9 и с циклограмите на фиг. 4.16. Междинните времена за всички фази на кръстовищата са с продължителност 6 секунди с изключение на кръстовище 2, при което продължителността на междинните времена за всяка от двете фази е 5 секунди.

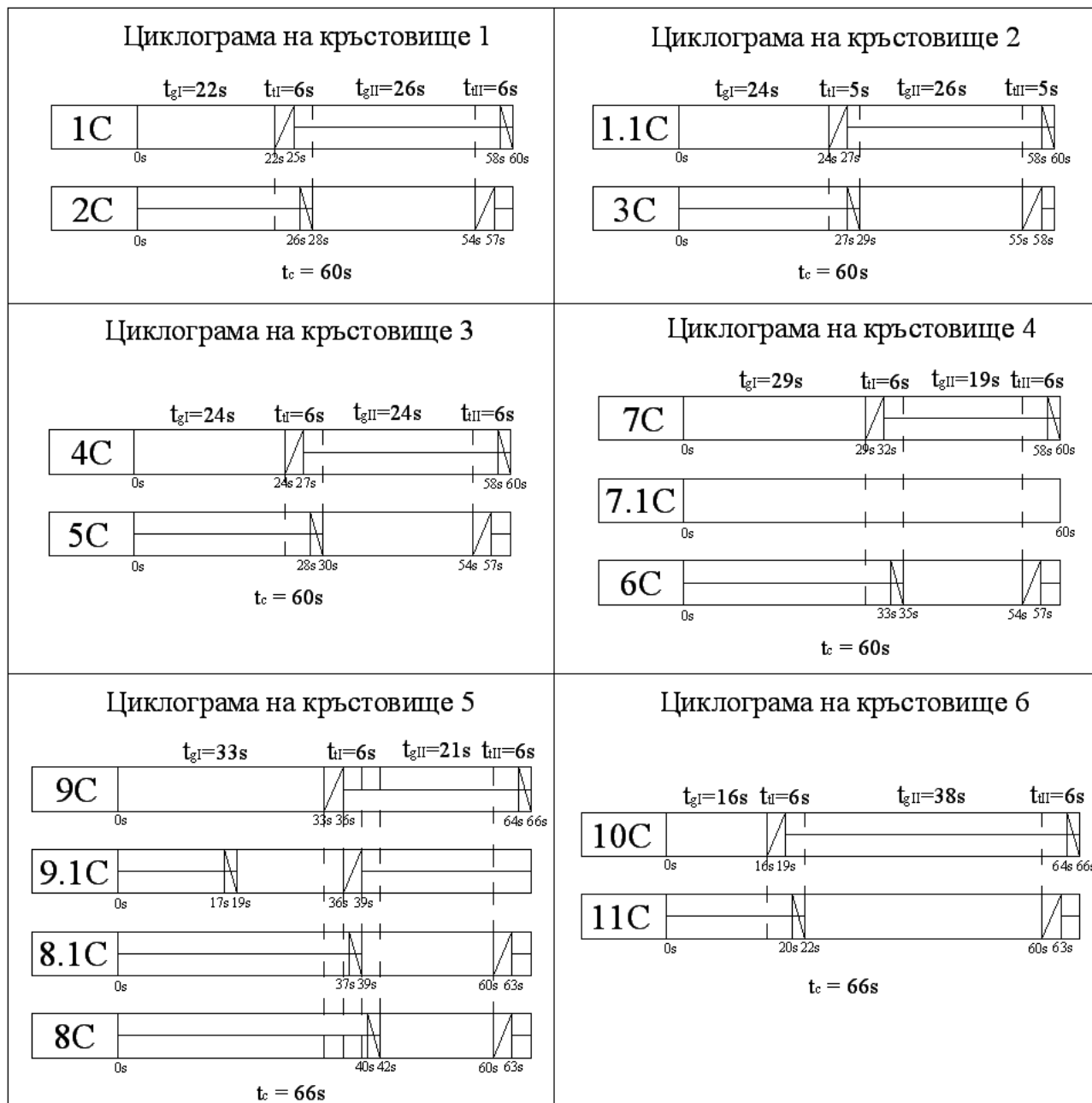




Фиг. 4.15 План на фазите на кръстовищата от разглеждания участък

Таблица 4.9 Продължителност на цикъла и фазите на светофарните уредби на кръстовищата от разглеждания участък

Кръстовище №	$t_c$ , сек	Продължителност на фазите, сек.	
		Фаза I	Фаза II
кръстовище 1	60	28	32
кръстовище 2	60	29	31
кръстовище 3	60	30	30
кръстовище 4	60	35	25
кръстовище 5	66	39	27
кръстовище 6	66	22	44



Фиг. 4.16 Съществуващи циклограми на кръстовищата от разглеждания участък

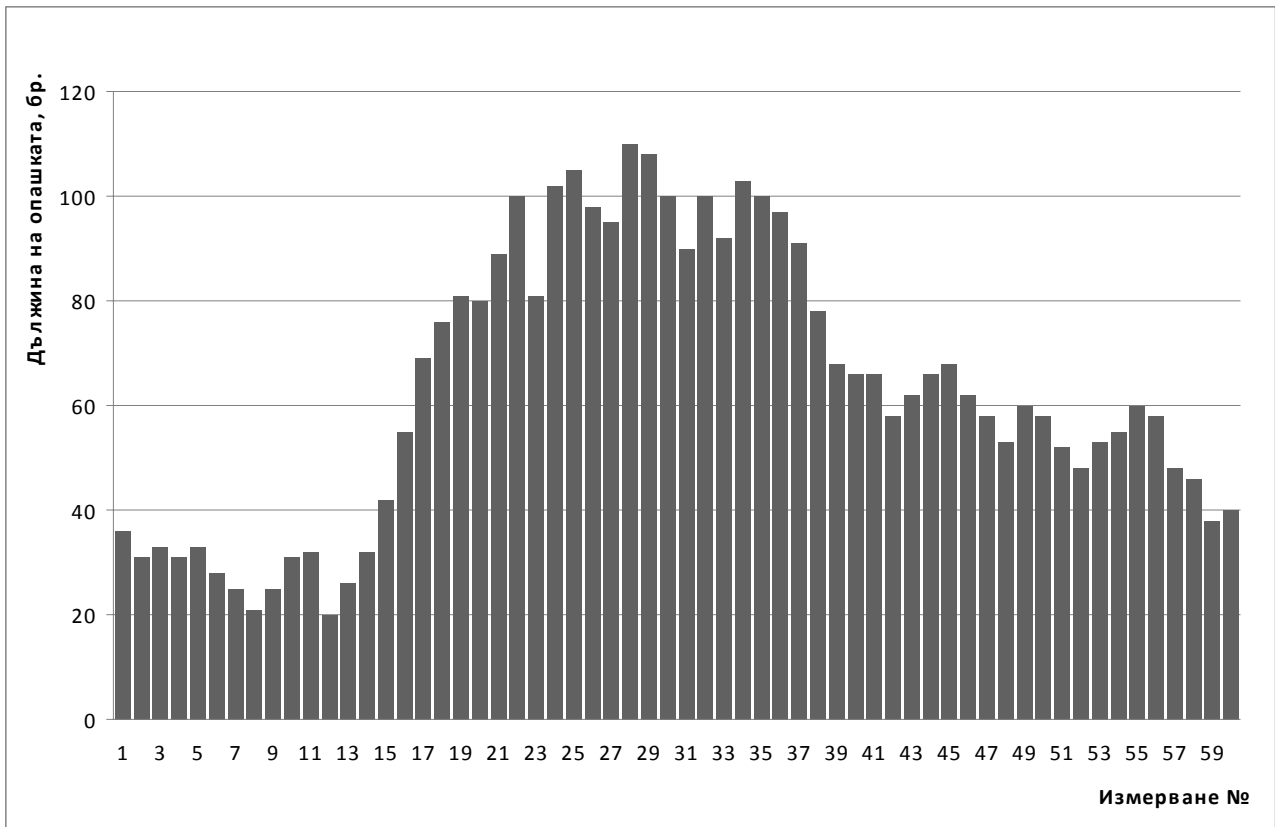
За разглежданите кръстовища се установиха и дължините на опашките за всеки един от техните входове. Изследването включва преброяване на спрелите автомобилите при светване на зелен сигнал за всяка фаза към съответния поток. Периодите на изследване са: за сутрешен пик от 8:30 до 9:30 часа, за вечерен пик от 18:00 до 19:00 часа и за непиков период от 13:10 до 13:30 часа. Преброяването в непиков период има за цел сравнение на резултатите след оптимизацията за негативно влияние върху периодите без затруднения при пропускане на транспортните потоци. Резултатите от изследването за всички

потоци са показани в Приложение III, в таблица ПIII.1 и на фигури от ПIII.1 до ПIII.10 за сутрешен пик, таблица ПIII.2 и фигури от ПIII.11 до ПIII.20 за вечерен пик и таблица ПIII.3 и фигури от ПIII.21 до ПIII.30 за не пиков период.

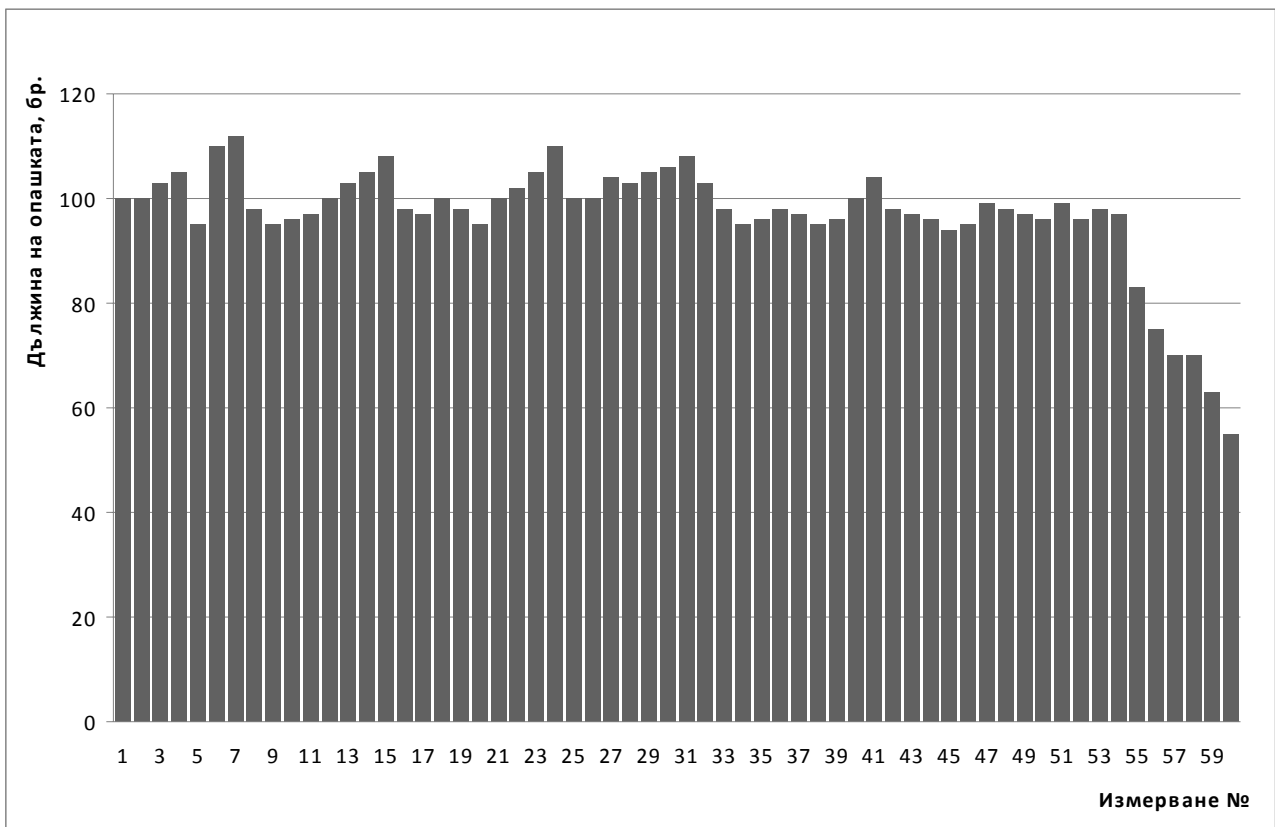
Анализът на резултатите показва, че за сутрешния и вечерен пиков период най-натоварен е поток 1 (по бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”). През сутрешния пиков период автомобилите в опашка за този поток са 30 за първите 20 минути, след което рязко се повишават до около 100 и през последните 20 минути техният брой е около 40 (фиг. 4.17). За вечерния пиков период дължината на опашката на същия поток е около 100 автомобила за целия период (фиг. 4.18). По-натоварени от останалите потоци са поток 4, поток 8, поток 9 и поток 10 със средна дължина на опашката за сутрешния и вечерния пиков период около 20 автомобила. Прави впечатление, че за поток 8 броят автомобили в опашка се ограничава от геометричните размери на съответния клон на кръстовище 5 (фиг. 4.19). Останалите потоци в пиковите периоди от денонощието са със средна дължина на опашката между 3 и 12 автомобила. За непиковия период не се отчитат затруднения в пропускането на потоците със средни дължини на опашките около 20 автомобила за поток 1 и около 10 автомобила за по-натоварените от останалите потоци.

За проверка на моделиращия алгоритъм за оптимизиране на продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази определям средна дължина на опашката по формула 2.3 като резултатите са показани в таблица 4.10 и на фиг. 4.20.

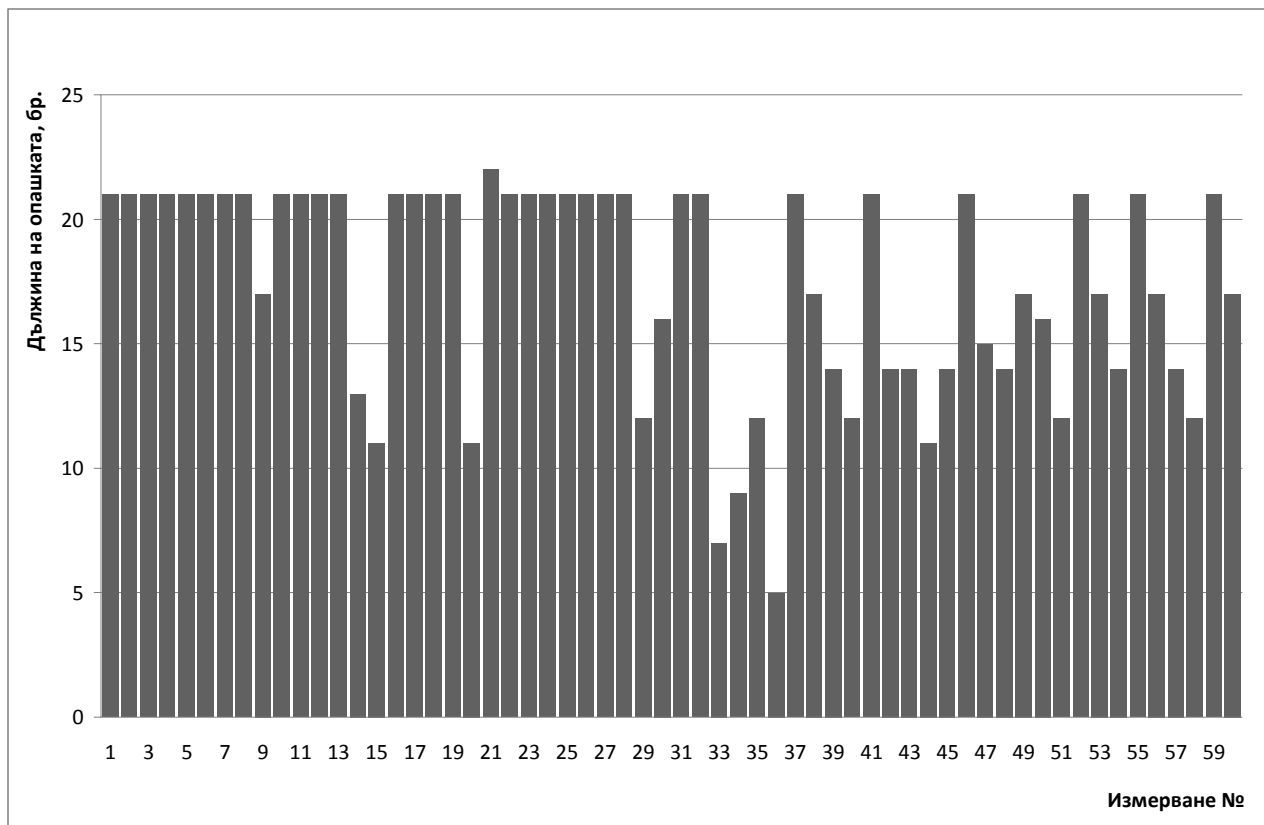
За разглеждания участък се определи пропускателната способност на всеки от клоновете на кръстовищата. Изследването за това включва измерване на параметри за изчисляване на пропускателната способност по формула 2.2. Резултатите от изследването са показани в Приложение III, в таблици от ПIII.4 до ПIII.13. За всичките клонове на разглежданите кръстовища се определиха пропускателни способности онагледени в таблица 4.11.



Фиг. 4.17 Дължини на опашката за поток 1 за сутрешен пик



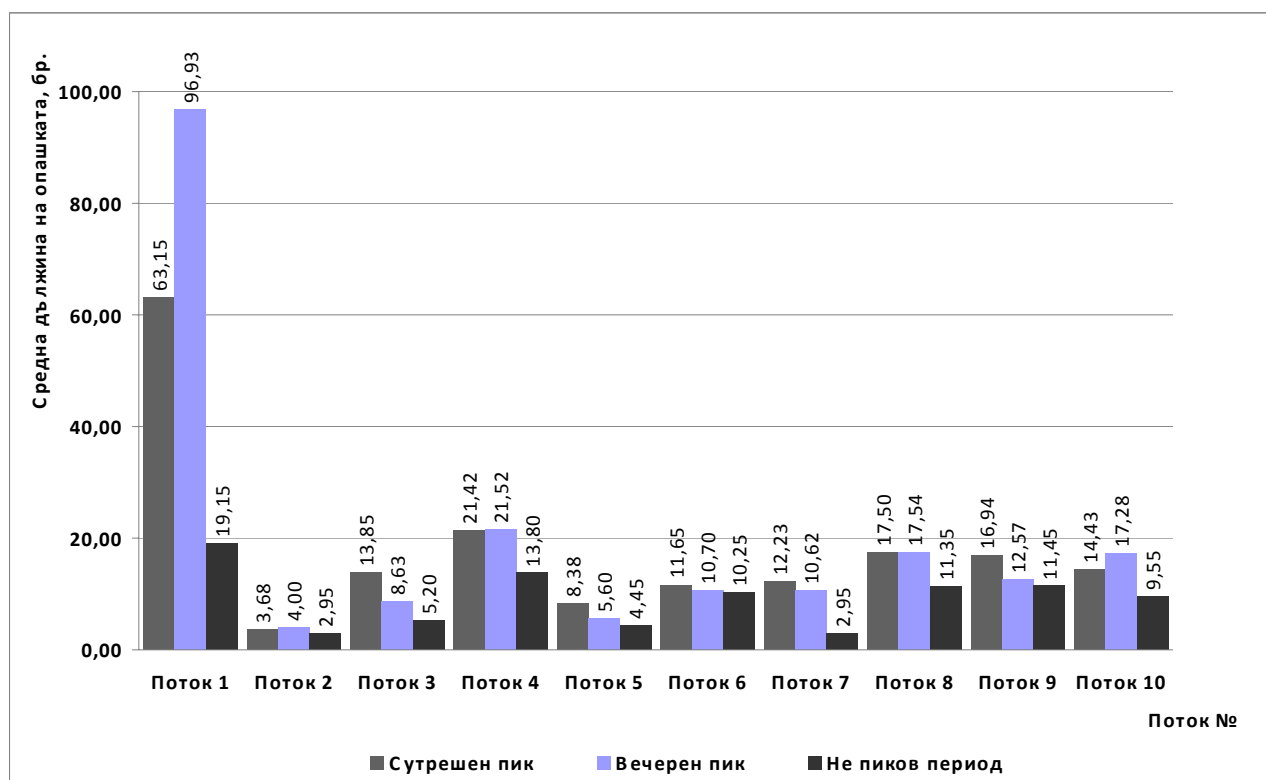
Фиг. 4.18 Дължини на опашката за поток 1 за вечерен пик



Фиг. 4.19 Дължини на опашката за поток 8 за сутрешен пик

Таблица 4.10 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък

Поток №	Дължина на опашката $Q_{av}$ , бр.		
	сутрешен пик	вечерен пик	не пиков период
поток 1	63,15	96,93	19,15
поток 2	3,68	4,00	2,95
поток 3	13,85	8,63	5,20
поток 4	21,42	21,52	13,80
поток 5	8,38	5,60	4,45
поток 6	11,65	10,70	10,25
поток 7	12,23	10,62	2,95
поток 8	17,50	17,54	11,35
поток 9	16,94	12,57	11,45
поток 10	14,43	17,28	9,55



Фиг. 4.20 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък за сутрешен, вечерен и неиков период

Таблица 4.11 Пропускателна способност на отделните клонове на кръстовищата от разглеждания участък

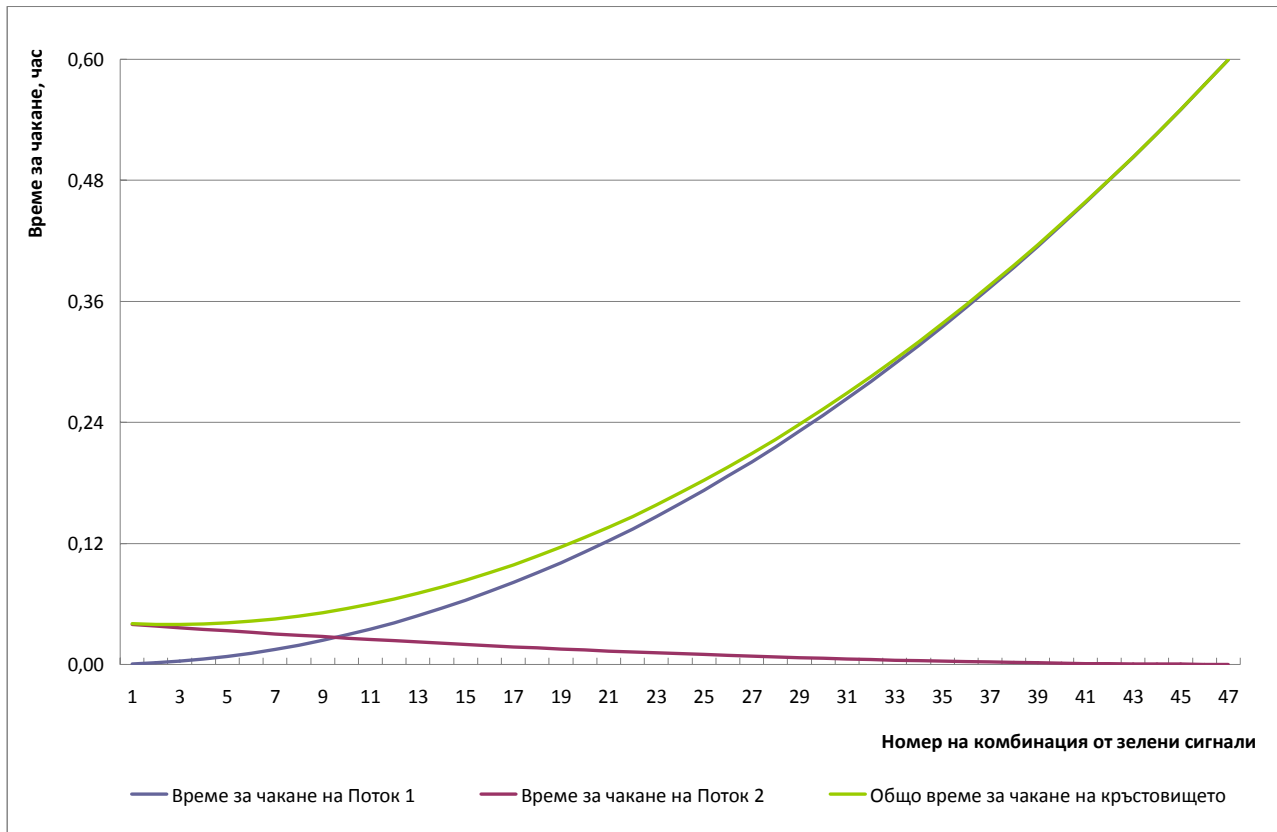
Кръстовище №	Клон на кръстовището	Пропускателна способност $I_p^f$ , а/сек.
кръстовище 1	клон от към бул. „Христофор Колумб”	1,41
	клон от към бул. „проф. Цветан Лазаров”	0,93
кръстовище 2	клон от към бул. „проф. Цветан Лазаров”	1,13
кръстовище 3	клон от към бул. „Христофор Колумб”	1,16
	клон от към бул. „кап. Димитър Списаревски”	0,79
кръстовище 4	клон от към бул. „Христофор Колумб”	0,81
	клон от към бул. „кап. Димитър Списаревски”	0,73
кръстовище 5	клон от към бул. „Христофор Колумб”	1,14
	клон от към бул. „проф. Цетан Лазаров”	0,84
кръстовище 6	клон от към бул. „проф. Цетан Лазаров”	1,20

Използването на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази изисква запазване на времето за цикъл на светофарната уредба. За кръстовищата от разглеждания участък тези времена ще се запазят с изключение на времената за цикъл на кръстовище 5 и кръстовище 6. За тях ще се приеме време за цикъл от 60 секунди с цел подобряване на координацията между отделните кръстовища. Минималното време за зелен сигнал за всяка фаза от светофарните цикли на кръстовищата приемам 6 секунди, с оглед на параметрите на изследваните показатели и възможността за преминаване на пешеходците по време на отделните фази. Запазването на междинните времена се гарантира от времето за промяна определено по формула 2.22, което с време за цикъл от 60 секунди е 48 секунди, с изключение на кръстовище 2, за което то е 50 секунди.

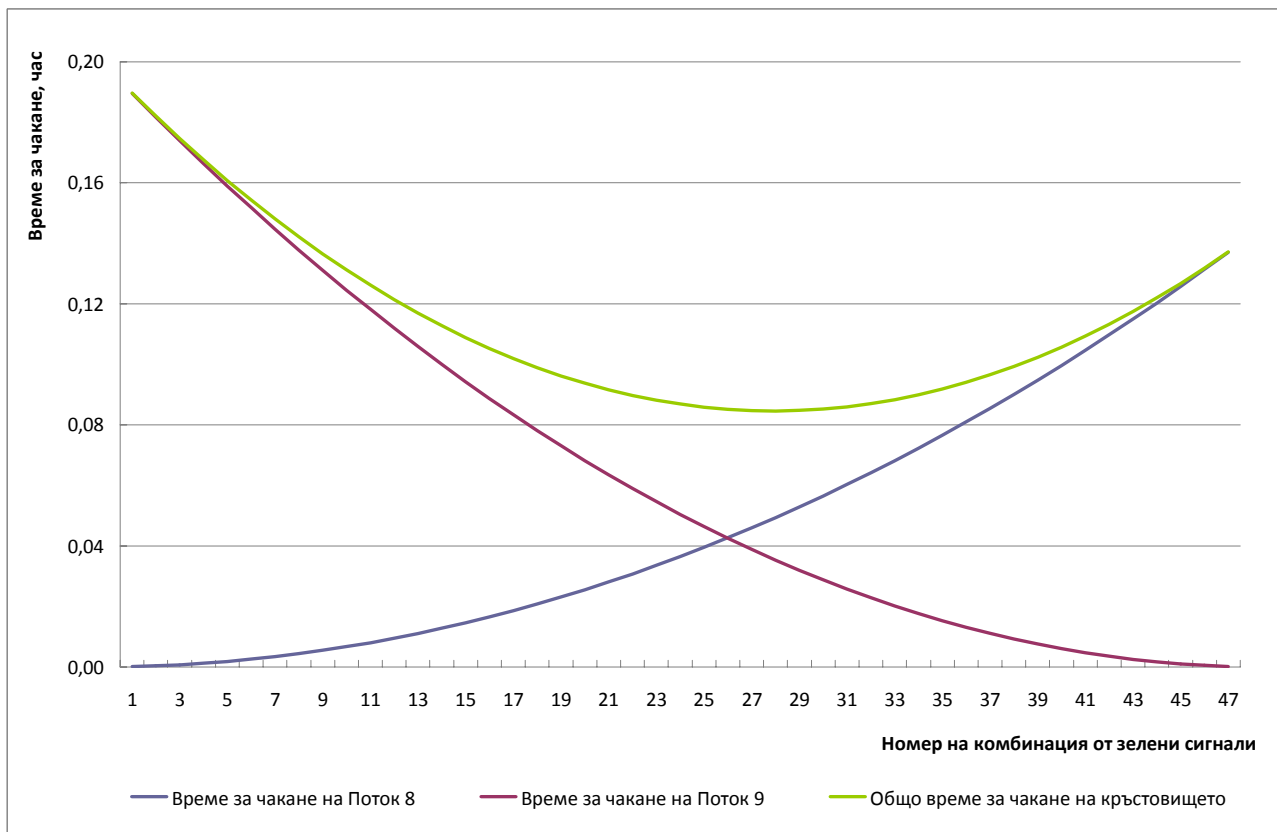
Проверката на моделиращия алгоритъм за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази се извърши за сутрешния и вечерния пик, за оценка на възможността за прилагане на фази с различна продължителност в рамките на времето за цикъл в тези периоди.

Изчисленията за проверка на моделиращия алгоритъм за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази са показани в Приложение IV (диск), във файлове ПIV.1 за сутрешен пик и ПIV.2 за вечерен пик. Изменението на времето за чакане за всеки от потоците и общото им време за чакане на кръстовищата са показани графично в Приложение V на фигури от ПIV.1 до ПIV.6 за сутрешен пик и от ПIV.7 до ПIV.12 за вечерен пик.

Резултатите показват изменение на времето за чакане за кръстовище 1 с най-натоварения поток 1 (по бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”) в границите на 0,04 до 0,60 часа за един цикъл на светофарната уредба за сутрешен пик (фиг. 4.21) и до 0,92 часа за вечерен пик. За по-натоварените кръстовища с поток 4, поток 8, поток 9 и поток 10 времето за чакане достига максимална стойност до около 0,20 часа за един цикъл на светофарните уредби (фиг. 4.22).



Фиг. 4.21 Изменение на времето за чакане на кръстовище 1 от разглеждания участък за сутрешен пик



Фиг. 4.22 Изменение на времето за чакане на кръстовище 5 от разглеждания участък за сутрешен пик



Резултатите от оптимизирането на продължителността на фазите за разглеждания участък са показани в таблица 4.12 за сутрешен пик и в таблица 4.13 за вечерен пик. Минималното общо време за чакане на всички потоци на кръстовищата от разглеждания участък е сумата от минималното време за чакане на потоците за всяко от кръстовищата и неговата стойност е 0,47 часа за сутрешен пик и 0,40 часа за вечерен пик, при един цикъл на светофарните уредби.

Таблица 4.12 Резултати от оптимизирането на продължителността на фазите за сутрешен пик

Кръстовище №	Продължителност на фазите, сек		$T_{wmin}$ , час
	Фаза I	Фаза II	
кръстовище 1	51	9	0,04
кръстовище 2	46	14	0,14
кръстовище 3	41	19	0,06
кръстовище 4	35	25	0,06
кръстовище 5	34	26	0,08
кръстовище 6	20	40	0,07
<b>Минимално общо време за чакане на всички потоци, час</b>			<b>0,47</b>

Таблица 4.13 Резултати от оптимизирането на продължителността на фазите за вечерен пик

Кръстовище №	Продължителност на фазите, сек		$T_{wmin}$ , час
	Фаза I	Фаза II	
кръстовище 1	52	8	0,04
кръстовище 2	50	10	0,10
кръстовище 3	44	16	0,05
кръстовище 4	34	26	0,06
кръстовище 5	30	30	0,07
кръстовище 6	24	36	0,08
<b>Минимално общо време за чакане на всички потоци, час</b>			<b>0,40</b>

Вариантите на разпределение на зелените сигнали при минимално общо време за чакане на всички потоци на кръстовищата определиха време за зелен сигнал към поток 2 от 3 секунди за сутрешен пик и от 2 секунди за вечерен пик. За поток 3 се определи време за зелен сигнал от 4 секунди за вечерен пик. За тези потоци в съответните периоди се приема време за зелен сигнал от 6 секунди за спазване на поставеното ограничително условие за това време. С тези приемания минималното общо време за чакане на всички потоци на кръстовищата на разглеждания участък се променя за вечерния пик и е със стойност от 0,41 часа за един цикъл на светофарните уредби. Продължителността на фазите за всяко от кръстовищата при изпълнение на условието за минимално време за зелен сигнал е показана в таблица 4.14.

Таблица 4.14 Продължителност на фазите на светофарните уредби на кръстовищата от разглеждания участък след оптимизирането

Кръстовище №	$t_c$ , сек	Продължителност на фазите, сек.			
		сутрешен пик		вечерен пик	
		Фаза I	Фаза II	Фаза I	Фаза II
кръстовище 1	60	48	12	48	12
кръстовище 2	60	46	14	49	11
кръстовище 3	60	41	19	44	16
кръстовище 4	60	35	25	34	26
кръстовище 5	60	34	26	30	30
кръстовище 6	60	20	40	24	36
<b>Минимално общо време за чакане на всички потоци, час</b>		<b>0,47</b>		<b>0,41</b>	

Получените стойности удовлетворяват зададените ограничителни условия посочени в Глава 2. Спазени са изискванията относно продължителността на цикъла, с оглед на това, че неговата стойност остава непроменена. Резултатите отговарят и на условията свързани с минимална

продължителност на зеления сигнал, определена продължителност на междинните времена и възможността за осигуряване на пешеходното движение през разглеждания участък. За проверка на изпълнение на условието, свързано с броя чакащи автомобили в опашка, се извършиха изчисления по формули от 2.23 до 2.26. За гранични стойности на броя чакащи автомобили в опашка приемам средните дължини на опашките за потоци 2, 3, 5, 6 и 7, а именно 3,68, 13,85, 8,38, 11,65 и 12,23 броя автомобили за сутрешен пик, и съответно 4,00, 8,63, 5,60, 10,70 и 10,62 броя автомобили за вечерен пик. За по-натоварените потоци 4, 8, 9 и 10 граничната стойност е половината от средната дължина на опашката при съществуващото положение, съответно 10,71, 8,75, 8,47 и 7,22 броя автомобили за сутрешен пик, и 10,67, 8,77, 6,29 и 8,64 броя автомобили за вечерен пик. За най-натоварения поток 1 тази стойност е четири пъти по-малка от средната дължина на опашката при съществуващото положение, която е 15,79 броя автомобили за сутрешен пик и 24,23 броя автомобили за вечерен пик. Според така избраните стойности ще се постигне четирикратно намаление на броя чакащи автомобили в опашка за най-натоварения поток по бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”, двукратно намаление на този брой за по-натоварените потоци 4, 8, 9 и 10, като това няма да влоши преминаването на останалите потоци през кръстовищата от избрания участък. Резултатите от изчисленията за изпълнение на ограничителното условие свързано с броя чакащи автомобили в опашка са показани в таблица 4.15 за сутрешен пик и таблица 4.16 за вечерен пик.

Анализът на резултатите от проверката показва, че условието е изпълнено за всички потоци в двата пикови периода на денонощието. Извърши се проверка и за дължините на опашките в непиков период със стойности за отделните времена за сутрешен и за вечерен пик, и с гранични стойности на броя автомобили в опашка според изискванията за пиковите периоди. И в двата случая условието беше изпълнено за всички потоци, което показва, че получените решения няма да се отразят върху нормалното пропускане на движението в непикови периоди от денонощието, независимо от това кои времена ще бъдат изпълнявани.

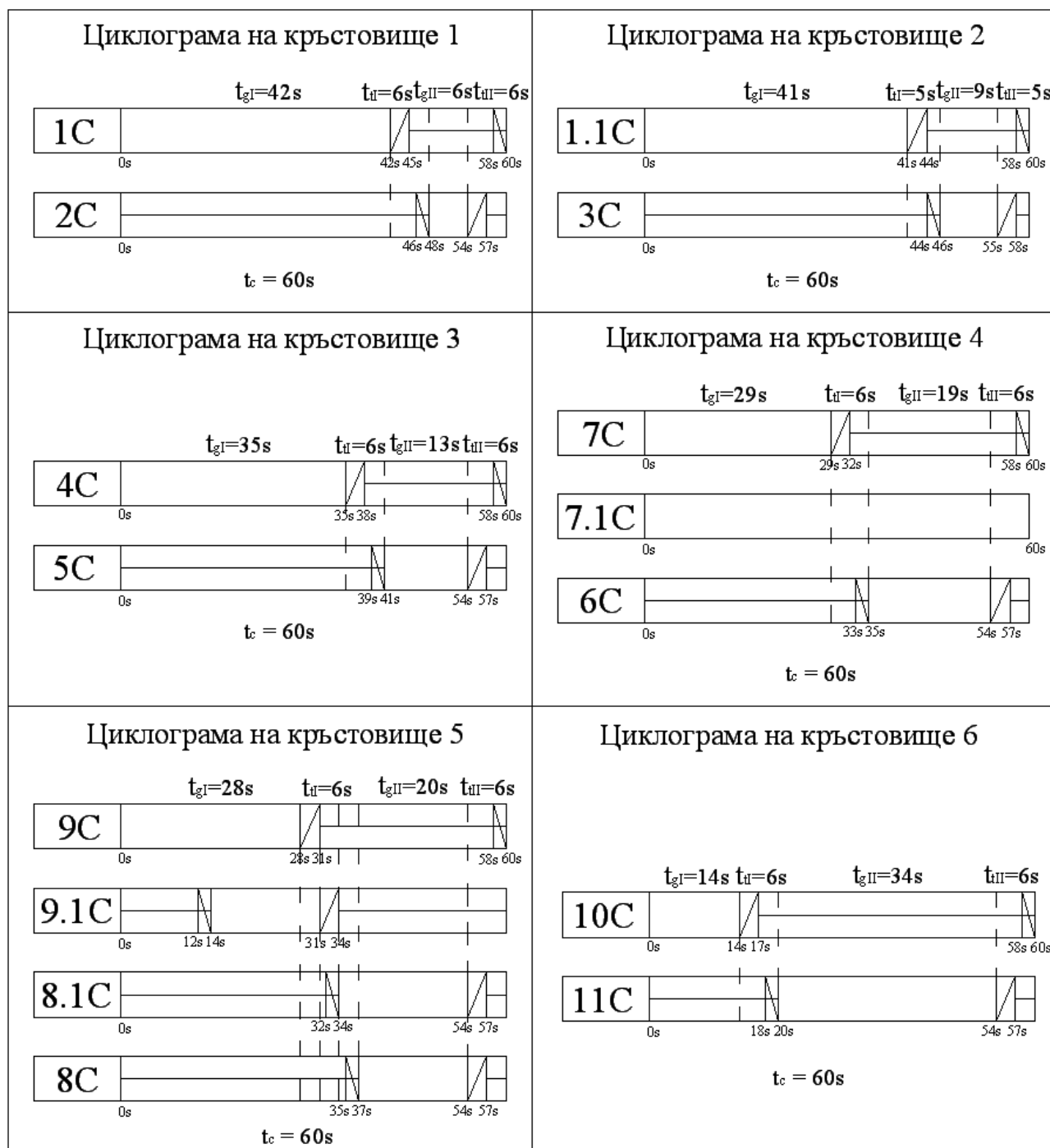
Таблица 4.15 Проверка за изпълнение на условието  $A_Q^{f_i} \leq A_{Q_{\max}}^{f_i}$  за сутрешен пик

ПОТОК №	$Q_{av}^{f_i}$	$t_r^{f_i}$	$I_{Q_i}$	$t_r^{f_i}$	$Q^{f_i}$	$P_g^{f_i}$	$N_{t_c}$	$A_L$	$A_Q^{f_i}$	$A_{Q_{\max}}^{f_i}$	Изпълнение на условието
ПОТОК 1	63,15	33	1,91	13	24,88	59,22	60	15,79	0,00	0,26	Да
ПОТОК 2	3,68	29	0,13	49	6,22	5,58	60	3,68	0,01	0,06	Да
ПОТОК 3	13,85	29	0,48	46	21,97	10,17	60	13,85	0,20	0,23	Да
ПОТОК 4	21,42	31	0,69	20	13,82	40,60	60	10,71	0,00	0,18	Да
ПОТОК 5	8,38	31	0,27	42	11,35	10,27	60	8,38	0,02	0,14	Да
ПОТОК 6	11,65	36	0,32	36	11,65	15,39	60	11,65	0,00	0,19	Да
ПОТОК 7	12,23	26	0,47	26	12,23	21,17	60	12,23	0,00	0,20	Да
ПОТОК 8	17,50	40	0,44	35	15,31	22,80	60	8,75	0,00	0,15	Да
ПОТОК 9	16,94	28	0,61	27	16,34	23,52	60	8,47	0,00	0,14	Да
ПОТОК 10	14,43	45	0,32	41	13,15	16,80	60	7,22	0,00	0,12	Да

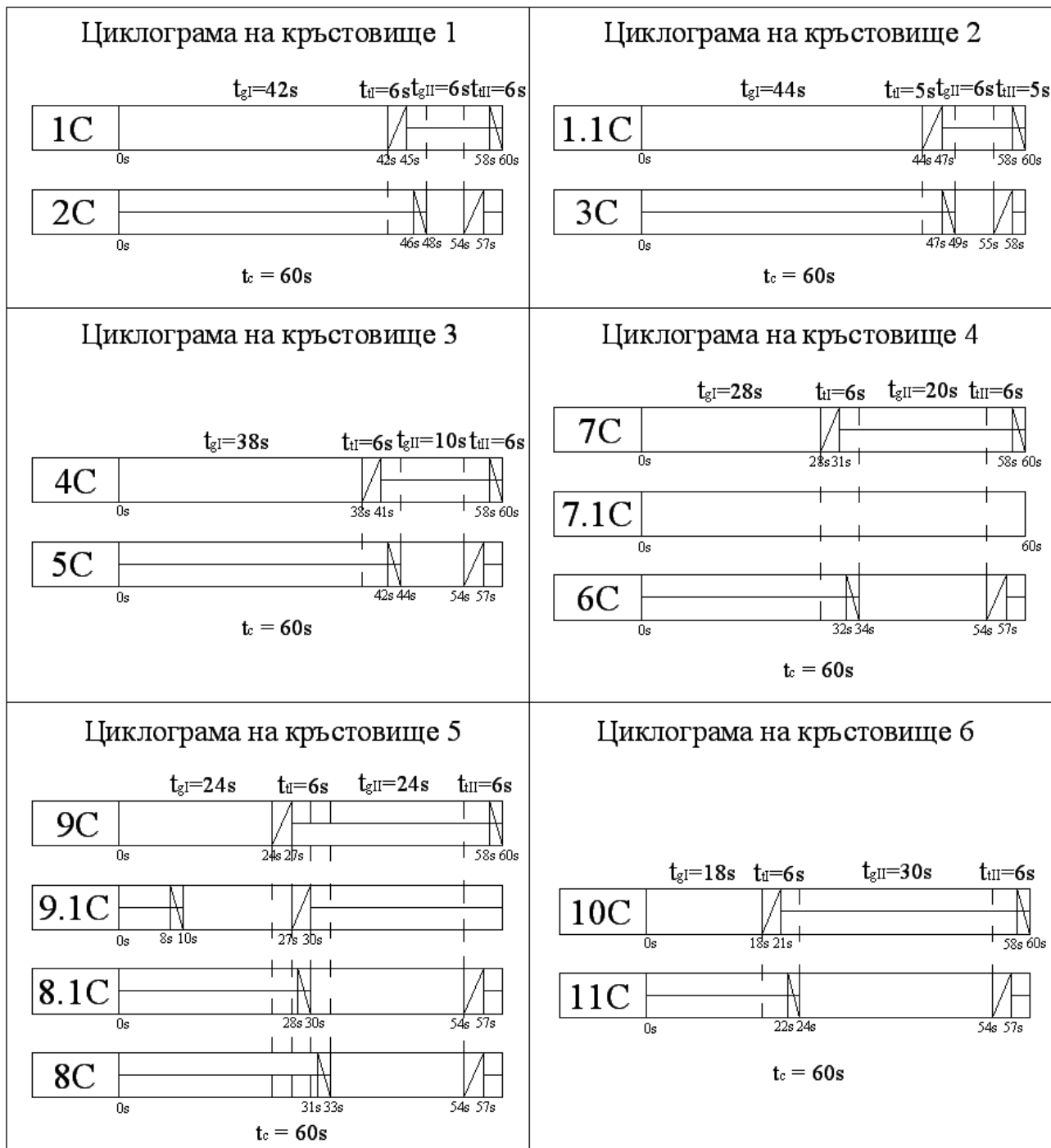
Таблица 4.16 Проверка за изпълнение на условието  $A_Q^{f_i} \leq A_{Q_{\max}}^{f_i}$  за вечерен пик

ПОТОК №	$Q_{av}^{f_i}$	$t_r^{f_i}$	$I_{Q_i}$	$t_r^{f_i}$	$Q^{f_i}$	$P_g^{f_i}$	$N_{t_c}$	$A_L$	$A_Q^{f_i}$	$A_{Q_{\max}}^{f_i}$	Изпълнение на условието
ПОТОК 1	96,93	33	2,94	13	38,18	59,22	60	24,23	0,00	0,40	Да
ПОТОК 2	4,00	29	0,14	49	6,76	5,58	60	4,00	0,02	0,07	Да
ПОТОК 3	8,63	29	0,30	49	14,58	6,78	60	8,63	0,13	0,14	Да
ПОТОК 4	21,52	31	0,69	17	11,80	44,08	60	10,76	0,00	0,18	Да
ПОТОК 5	5,60	31	0,18	45	8,13	7,9	60	5,60	0,00	0,09	Да
ПОТОК 6	10,70	36	0,30	35	10,40	16,2	60	10,70	0,00	0,18	Да
ПОТОК 7	10,62	26	0,41	27	11,03	20,44	60	10,62	0,00	0,18	Да
ПОТОК 8	17,54	40	0,44	31	13,59	27,36	60	8,77	0,00	0,15	Да
ПОТОК 9	12,57	28	0,45	31	13,92	20,16	60	6,29	0,00	0,10	Да
ПОТОК 10	17,28	45	0,38	37	14,21	21,6	60	8,64	0,00	0,14	Да

Оптимизираните стойности на времената на фазите при минимално общо време за чакане на всички потоци на кръстовищата са онагледени с циклограмите на фиг. 4.23 за сутрешен пик и на фиг. 4.24 за вечерен пик.



Фиг. 4.23 Оптимизирани циклограми на кръстовищата от разглеждания участък за сутрешен пик



Фиг. 4.24 Оптимизирани циклограми на кръстовищата от разглеждания участък за вечерен пик

Полученото решение за продължителността на фазите намалява общото време за чакане на всички потоци от разглеждания участък с над 47 часа за изследваните пикови периоди. Прилагането на резултатите за продължителност на фазите ще намали вредните последици от използване на автомобилите в градски условия като намали разхода на гориво с над 140 литра на ден или с

около 40000 литра за една година. Това от своя страна гарантира намаляване на отделяните вредни емисии при работа на автомобилите за разглеждания участък с над 50%. Освен това загубата от време на пътуващите, които преминават през този участък, ще се намали с около 15000 човекочаса за една година.

Разработените алгоритми, с използването на представения в Глава 2 критерий за оптимално пропускане на движението през кръстовище, позволяват да се определи нарастването на опашката за всеки цикъл на светофарната уредба. Това дава възможност за планиране и прогнозиране характера на движението при настъпване на следните аварийни ситуации:

- Аварийна ситуация, при която един от клоновете на кръстовището е блокиран поради пътнотранспортно произшествие или друго събитие. В този случай може да се прогнозира времето, за което негативните последици ще окажат въздействие върху работата на други пътни възли от изследвания район. Например при настъпване на подобна аварийна ситуация за клон по бул. „Христофор Колумб” на кръстовище 1 от комплекса кръстовища показан на фиг. 4.13, по време на сутрешния пик автомобилите от поток 1 ще блокират възел „А” за около три цикъла на светофарната уредба на кръстовището (около 3 минути), тъй като за толкова време разстоянието от около 500 метра ще се запълни с над 200 автомобила. При настъпване на такава ситуация за другия клон на същото кръстовище 1 (по бул. „проф. Цветан Лазаров”) автомобилите от поток 2 ще блокират работата на кръстовище 6 за около 20 цикъла на светофарната уредба на кръстовището (около 20 минути).

- Аварийна ситуация, при която намалява пропускателната способност на разглежданото кръстовище (ремонтни работи, пътнотранспортни произшествия и други, които блокират преминаване по една или няколко ленти). В този случай също може да се прогнозира времето, за което негативните последици ще окажат въздействие върху работата на други пътни възли от изследвания район. Например автомобилите от поток 1 на кръстовище 1, от комплекса от кръстовища показан на фиг. 4.13, навлизат в кръстовище 2 в една лента вместо досегашните три по време на сутрешен пик. В този случай

пропускателната способност ще намалее три пъти, което води до двукратно увеличение на опашката от автомобили по бул. „Христофор Колумб”. Това означава, че за разглеждания период, при съществуващото положение, автомобилите от поток 1 ще блокират възел „А” два пъти по-бързо или за около четири цикъла на светофарната уредба на кръстовището (около 4 минути).

Получените резултати за продължителност на фазите на светофарните уредби на кръстовищата от разглеждания участък след оптимизирането, представени в таблица 4.14 и с циклограмите на фиг. 4.23 и фиг. 4.24, са предложени на Столична община за експериментална проверка. Приложението беше възможно само за един от вариантите за сутрешен или вечерен пик, който не се променя през целия ден. То се ограничи от възможностите на блока за управление на светофарните уредби на кръстовищата от разглеждания участък. Изборът за приложение се спря на продължителността на фазите за вечерен пик, което бе обусловено от параметрите на транспортните потоци. По този начин се гарантира безпроблемно преминаване и по време на сутрешния пик, при което се постигат описаните ползи с известно повишение. След внедряване на оптимизираните циклограми за вечерен пик се извърши изследване за броя автомобили в опашка за всеки от разглежданите потоци. Резултатите от изследването за всички потоци след оптимизирането са показани в Приложение VI, в таблица ПVI.1 и на фигури от ПVI.1 до ПVI.10 за сутрешен пик, таблица ПVI.2 и фигури от ПVI.11 до ПVI.20 за вечерен пик и таблица ПVI.3 и фигури от ПVI.21 до ПVI.30 за не пиков период.

Резултатите от внедряването на оптимизираните циклограми показват, че средната дължина на опашката за най-натоварения поток 1 (по бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1” и ж.к. „Дружба 2”) и за поток 4 (по бул. „Христофор Колумб”, посока към ж.к. „Дружба 1”) намалява повече от четири пъти за пиковите периоди на денонощието. За останалите по-натоварени потоци 8, 9 и 10 се отчита намаляване на опашката, без да се достига поставеното изискване за двукратното ѝ намаление. За някои от останалите потоци има известно увеличение на опашката в порядъка от 0,3 до 3,99 автомобили за сутрешния пик и от 0,4 до 6,98 автомобили за вечерния пик. За не



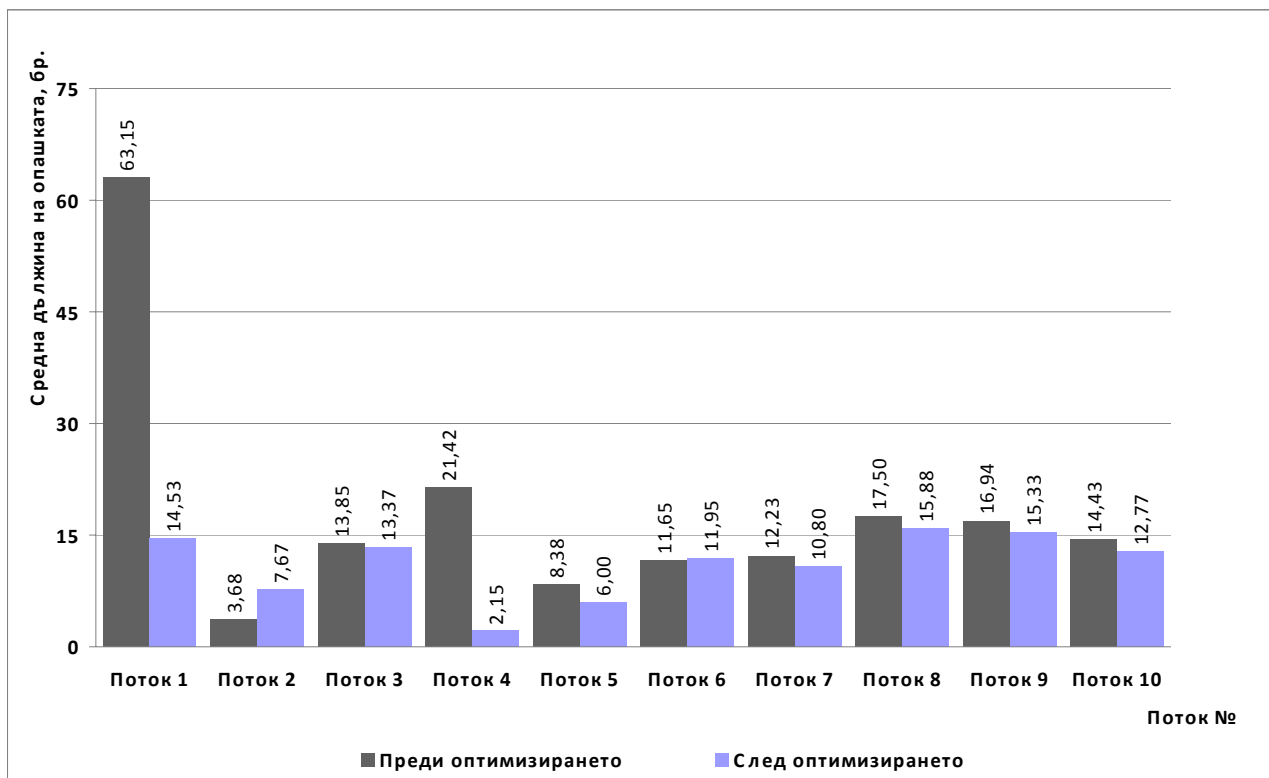
пиковия период на изследването опашките за най-натоварения поток 1 и за поток 4 намаляват съществено. За повечето от останалите потоци има увеличение на средната дължина на опашката в порядъка от 0,3 до 3,4 автомобила. Сравнението на резултатите преди и след оптимизиране е онагледено в таблица 4.17 и на фиг. 4.25 за сутрешен пик, фиг. 4.26 за вечерен пик и на фиг. 4.27 за непиков период.

От сравнението на резултатите за дължини на опашките преди и след оптимизирането се вижда, че стойностите на увеличение на опашките за различните периоди на денонощието няма да доведат до аварайни ситуации като тези преди прилагането на оптимизираните продължителности на фазите на светофарните уредби от разглеждания участък. Освен това движението се пропуска при спазване на критерия описан в Глава 2, което при всички положения води до намаляване на вредното влияние от удължения престой на превозните средства при преминаването през разглеждания участък.

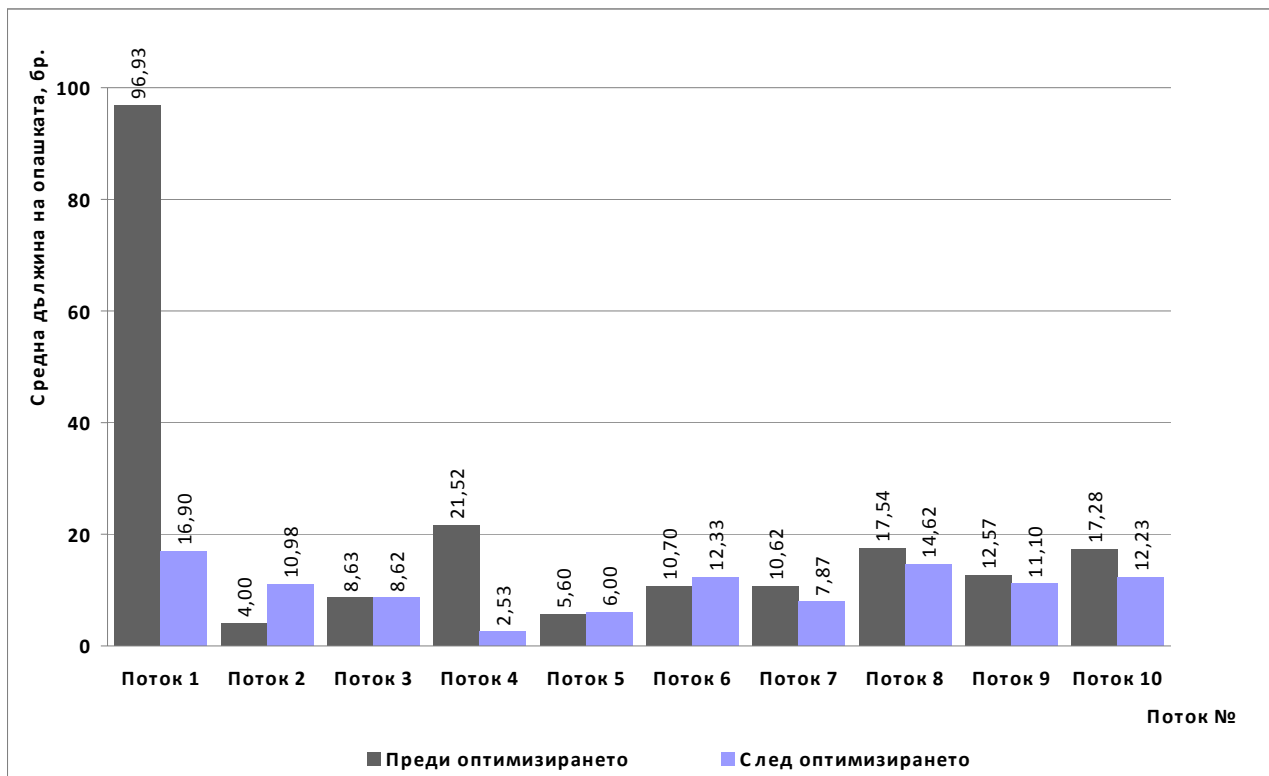
Таблица 4.17 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък

Поток №	Дължина на опашката $Q_{av}$ , бр.					
	сутрешен пик		вечерен пик		не пиков период	
	Преди оптими- зирането	След оптими- зирането	Преди оптими- зирането	След оптими- зирането	Преди оптими- зирането	След оптими- зирането
поток 1	63,15	14,53	96,93	16,90	19,15	12,65
поток 2	3,68	7,67*	4,00	10,98*	2,95	6,35*
поток 3	13,85	13,37	8,63	8,62	5,2	8,55*
поток 4	21,42	2,15	21,52	2,53	13,8	2,15
поток 5	8,38	6,00	5,6	6,00*	4,45	6,00*
поток 6	11,65	11,95*	10,70	12,33*	10,25	11,30*
поток 7	12,23	10,80	10,62	7,87	2,95	7,90*
поток 8	17,5	15,88	17,54	14,62	11,35	13,45*
поток 9	16,94	15,33	12,57	11,10	11,45	11,75*
поток 10	14,43	12,77	17,28	12,23	9,55	7,65

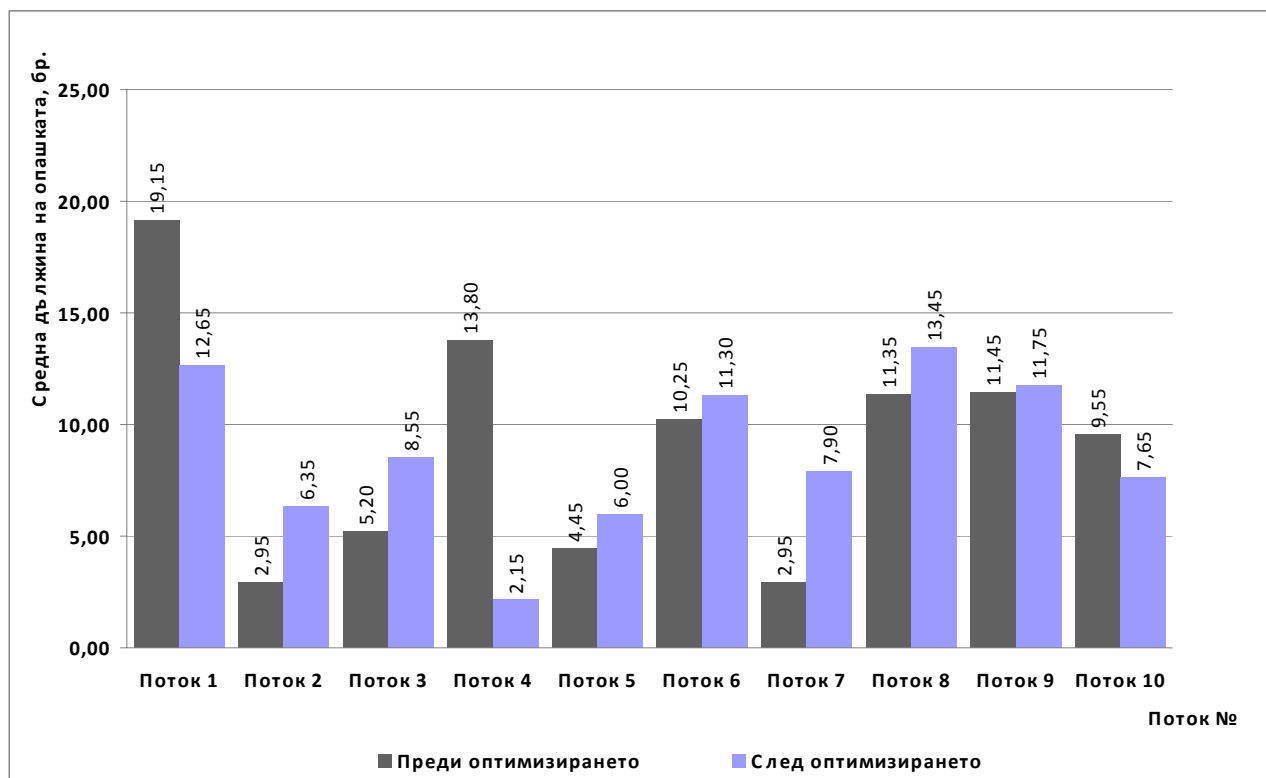
\*Стойности на повишаване на средната дължина на опашката



Фиг. 4.25 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък за сутрешен пик преди и след оптимизирането



Фиг. 4.26 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък за вечерен пик преди и след оптимизирането



Фиг. 4.27 Средни дължини на опашките на транспортните потоци от разглеждания участък за непииков период преди и след оптимизирането

Оптимизираните циклограми на светофарните уредби на кръстовищата от разглеждания комплекс продължават да действат и след експерименталната проверка, която извършихме със съдействието на Столична община.

Основните изводи, които могат да бъдат направени от експерименталната проверка на разработените алгоритми и критерия за оптимално пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовище са:

1. Разработените алгоритми позволяват да се моделира пропускането на движението през кръстовища в условия на настъпили аварийни ситуации.

2. Експериментално определените входни данни за моделиращите алгоритми, последващата обработка и получените резултати след програмиране могат да бъдат приложени в блоковете за адаптивно управление на светофарни уредби.

3. Експерименталната проверка на моделиращите алгоритми и получените резултати за продължителност на времената на светофарните

уредби с използване на критерия за оптимално пропускане на движението през кръстовище показват тяхната достоверност.

4. Прилагането на резултатите постигнати с разработените алгоритми и използването на предлагания критерий за оптималност на пропускането на пътнотранспортното движение през кръстовище позволява значително намаляване на вредните влияния от използването на автомобилния транспорт в градовете.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Един от пътищата за решаване на проблемите свързани с организацията на пътнотранспортното движение е внедряване на системи за адаптивно управление на светофарните уредби в реално време.

Създадените математически изрази за определяне на времето за чакане на поток изразяват физическите процеси на пристигане, престой и преминаване на автомобилите през светлинно-регулирано кръстовище. Разработените алгоритми са приложими в две направления – за оптимизиране на светлинно-сигналото регулиране при критерий минимално общо време за чакане на всички автомобили и за планиране и прогнозиране на характера на движението и образуващите се опашки от автомобили при настъпване на аварийни ситуации като пътнотранспортни произшествия, намаляване на броя ленти за движение и други. Алгоритмите обезпечават софтуера на програмното осигуряване на блоковете за управление на светофарните уредби в реално време. Резултатите се получават чрез комбинации на възможните решения за времената за зелен сигнал и цикъла на светофарната уредба. За намаляване броя на изчислителните операции е приет подход за работа с интервали.

На базата на наблюдения за интензивността на транспортните потоци, с помощта на разработените алгоритми, са оптимизирани времената на фазите на съществуващи кръстовища в гр. София. За премахване на всекидневното блокиране на движението са създадени циклограми за комплекс от взаимосвързани кръстовища. Същите са внедрени на изследваното кръстовище в ж.к. „Дружба 1”, което премахна проблема с блокирането на движението. Това доказва адекватността на разработените алгоритми с постигането на ползи от различен характер като намаляване на времето за пътуване, количеството на използваните горива и отделени вредни емисии.

## ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

### Научни приноси:

1. Формулирани са математически зависимости за определяне на времето за чакане на поток, които обхващат възможните случаи при пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовище. Формулиран е критерий за оптимално пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовище, който отразява загубите от време за чакане на всички автомобили.

### Научно-приложни приноси:

1. Определени са параметрите на пътнотранспортното движение съобразени с възможността за измерване чрез транспортни детектори. Избраните параметри осигуряват необходимата информация при адаптивно управление на светофарни уредби.

2. Разработени са алгоритми за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище и продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази. Алгоритмите са приложими при разработване на софтуера на блоковете за управление на светофарни уредби в реално време.

3. Разработените алгоритми могат да моделират и прогнозират движението по пътната мрежа при настъпване на аварийни ситуации на кръстовища – задръствания, блокиране на движението, промени в пропускателната способност и други.

4. Работата с интервали, използвани в разработените алгоритми, намалява броя на изчислителните комбинации, което позволява използването им, както при адаптивно-сигнално регулиране така и при пресмятания за светофарни уредби с твърд режим на управление.

### Приложни приноси:

1. Изследвани са параметрите на транспортните потоци. Анализирани са получените резултати относно плана на фазите и светофарните цикли на изследваните кръстовища, дължините на опашките за всеки от потоците, задръжките, пропускателната способност, кореспонденциите между входовете и изходите и други показатели на пътнотранспортното движение.

2. Получените резултати от оптимизирането на кръстовища в условия на настъпили аварийни ситуации са потвърдени с експерименталите изследвания свързани с броя автомобили в опашка, което доказва приложимостта на разработените алгоритми.

3. Прилагането на резултатите постигнати с разработените алгоритми и използването на предлагания критерий за оптималност при пропускане на пътнотранспортното движение през кръстовище намалява значително разхода на горива, количеството на отделяните вредни емисии от транспорта, времето за пътуване и други.

### Приложение на резултатите от научното изследване в практиката

Оптимизираните циклограми с използване на алгоритъма за оптимизиране продължителността на фазите при пропускане на движението в две фази са внедрени на комплекс от шест взаимосвързани кръстовища в ж.к. „Дружба 1”, в град София със съдействието на Столична община.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов А. П., Оптимизиране режима на светлинно сигнално регулиране на движението с отчитане изменението на потока на насищане от продължителността на зеления сигнал, Варна, Национална техническа конференция по безопасност на движението, 1988.
2. Бабков В., Дорожные условия и организация движения, Москва, Транспорт, 1974.
3. Брайловски Н. О. и др., Моделирование транспортных систем, Москва, Транспорт, 1979.
4. Вол М., Б. Мартин, Анализ транспортных систем, Москва, Техника, 1981.
5. Гаврилов А. А., Моделирование дорожного движения, Москва, Транспорт, 1980.
6. Диалло М., Изследване и оптимизиране на координирано светлинно-сигнално регулиране на автомобилното движение, Дисертация за присъждане на образователна и научна степен „доктор”, София, Технически Университет - София, 1998.
7. Димитров С. Д., Имитационен модел на пешеходен светофар, Trans&MOTAUTO'10, РУ „Ангел Кънчев”, Русе, 06-08 Юли 2010 г., Научно списание Машини, технологии, материали”, бр. 7, 2010.
8. Дрю Д., Теория транспортных потоков и управление ими, Москва, Транспорт, 1972.
9. Златанов И. Т., Организация и безопасност на движението, София, техника, 1985.
10. Капитанов В. Т., Е. Б. Хиладжев, Управление транспортными потоками в городах, Москва, Транспорт, 1985.
11. Клинковщейн Г. И., Организация дорожного движения, Москва, Транспорт, 1975.
12. Клинковщейн Г. И., Организация дорожного движения, Москва, Транспорт, 1982.



13. Кременец Ю., М. П. Печерский, Технические средства регулирования дорожного движения, Москва, Транспорт, 1981.
14. Наредба № 2 от 29 юни 2004 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии, Обн., ДВ, бр. 86 от 2004 г.; попр., бр. 93 от 2004 г.
15. Наредба № 17 от 23.07.2001 г. за регулиране на движението по пътищата със светлинни сигнали, обн., ДВ, бр. 72 от 17.08.2001 г., изм. и доп., бр. 18 от 5.03.2004 г.
16. Печерский М. П., Б. Г. Хорович, Автоматизированные системы управление дорожным движением в городах, Москва, Транспорт, 1979.
17. Самойлов Д. С., Городский транспорт, Москва, Стройиздат, 1983.
18. Самойлов Д. С., В. Юдин, Организация и безопасность городского движения, Москва, Высшая школа, 1981.
19. Сильянов В. В., Теория транспортных потоков в проектирование дорог и организации движения, Москва, Транспорт, 1977.
20. Станоев Ц., Разработване и изследване на модел за описание неустановен процес на движение на транспортния поток, Дисертация за присъждане на научна степен „Кандидат на техническите науки”, София, ВМЕИ, 1984.
21. Тодоров Т. И., Градоустройство, градско движение и улици, София, Техника, 1982.
22. Тодоров Т. И., Градско движение. Проучване, планиране и организация, София, Техника, 1979.
23. Тодоров Т. И. и др., Системи за автоматично управление на уличното движение, София, Техника, 1977.
24. Шештокас В., Д. С. Самойлов, Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах, Москва, Транспорт, 1987.
25. Aashtiani H., H. Iravani, Use of intersection delay functions to improve reliability of traffic assignment model, 14<sup>th</sup> Annual International EMME/2 Conference, Chicago, Illinois, October 22, 1999.

26. Almejall K., etc., Real time identification of road traffic control measures, Bradford, Springer, 2008.
27. Appa G., etc., Handbook on modeling for discrete optimization, New York, Springer, 2006.
28. Aria M., Intelligent traffic light control based on interval type 2 fuzzy system, *Majalah Ilmiah UNIKOM*, Vol. 8, № 2, 203-216, 2011.
29. Askerzade I., M. Mahmood, Control the extension time of traffic light in single junction by using fuzzy logic, *International Journal of electrical computer sciences, IJECS-IJENS*, Vol. 10, № 02, 52-59, 2010.
30. Barcelò J., *Fundamentals of traffic simulation*, Barcelona, Springer, 2010.
31. Boel R., *Networked control system: Modelling and control of road traffic*, SYSTEMS research group, DISC School, June 2011.
32. Bonsal P. W., A survey of attitudes to car sharing: a database for microsimulation, Transport and road research laboratory, Laboratory report 563, 1980.
33. Bonsal P. W., Microsimulation of organised car sharing: description of the models and calibration, Transport and road research laboratory, Laboratory report 564, 1980.
34. Burghout W., Mesoscopic simulation models for short-term prediction, Predict project, Campus Vall, Centre for traffic research, 2005.
35. Ceder A., *Transportation and traffic theory*, Proceeding of the 14<sup>th</sup> International symposium on Transportation and traffic theory, Jerusalem, 1999.
36. Cohen G., etc., On traffic light control of regular towns, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Report de recherché, № 4276, 2001.
37. Davies E., *Roads and their traffic*, London and Glasgow, Blackie & Son Limited, 1960.
38. Davol A., Modeling of traffic signal control and transit signal priority strategies in a microscopic simulation laboratory, Massachusetts Institute of Technology, September 2001.

39. Dimitrovski I., etc., Grid enabled computer vision system for measuring traffic parameters, Skopje, Springer, 2007.
40. Dodson J., Investigating the social dimensions of transport disadvantage II: from concept to methods through an empirical case study, Urban Policy and Research, Vol. 25, № 1, 63-89, 2007.
41. Dougherty M., etc., Technological advances that impact on microsimulation modeling, Transport Reviews, Vol. 20, № 2, 145-171, 2000.
42. Dusutour A., etc., Optimal traffic organization in ants under crowded condition, Nature, Vol. 428, 70-73, 2004.
43. Ganiyu R., etc., Modelling and simulation of a multi-phase traffic light controlled T-type junction using time coloured Petri nets, American Journal of Scientific and Industrial research, doi:10.5251/ajsir.2011.2.3.428.437, 2011.
44. Garido R., Road pricing for hazardous materials transportation in urban networks, Santiago, Springer, 2008.
45. Gibson D., A new look at sensors, Public Roads, November/December, 2007.
46. (145)Gordon R., etc., Traffic control systems handbook, Washington, Federal highway administration, 2005.
47. Haberman R., Mathematical models, Texas, Department of mathematics southern, Methodist University Dallas, 1998.
48. Hasselberg M., L. Laflamme, Road traffic injuries among young car drivers by country of origin and socioeconomic position, Basel, Birkhauser, 2008.
49. Henry R. D., Signal timing on a shoestring, Washington, Federal highway administration, 2005.
50. Heydecker B., J. Addison, Analysis of dynamic traffic equilibrium with departure time choice, Transportation Science, Vol. 39, № 1, 39-57, 2005.
51. Howell W., simulation optimization of traffic light signal timings via Perturbation analysis, College Park, University of Maryland, 2006.
52. Hugrahani E., etc., Traffic light strategies in optimizing the traffic flow, 2<sup>nd</sup> IMT-GT Regional conference on mathematics, statistics and applications, University Sains Malaysia, Penany, June 13-15, 2006.

53. Jatmiko W., etc., Self-organizing urban traffic control architecture with swarm-self organizing map in Jakarta: Signal control system and simulator, International Journal on Smart sensing and Intelligent systems, Vol. 3, № 3, September 2010.

54. Kell J., etc., Traffic detector handbook, Georgetown, Federal highway administration, 1990.

55. Kerner B., Introduction to modern traffic flow theory and control, Berlin, Springer, 2009.

56. Kimber R. M., E. M. Hollis, Traffic queues and delays at road junctions, Crowthorne, Berkshire, Transport and road research laboratory, Laboratory report 909, 1979.

57. Klein L., traffic detector handbook: Third edition – Volume 1, Georgetown, Federal highway administration, 2006.

58. Koonce P., etc., Traffic signal timing manual, U. S. Department of transportation, Georgetown, Federal highway administration, 2008.

59. Kulkarni G., P. Waingankar, Fuzzy logic based traffic light controller, Second International Conference on Industrial and Information system, 8-11 August, Sri Lanka, 2007.

60. Lei Sh., etc., Research of urban microscopic traffic simulation system, Proceeding of the Eastern Asia society for Transportation Studies, Vol. 5, 1610-1614, 2005.

61. Leonard D. R., etc., A traffic assignment model for predicting flows and queues during peak period, Transport and road research laboratory, Laboratory report 841, 1978.

62. Liu H., X. Di, Development of algorithms for travel time – based traffic signal timing, Phase I – A hybrid extended kalman filtering approach for traffic density estimation along signalized arterials, Minneapolis, University of Minnesota, 2010.

63. Mcshane W., R. Roess, Traffic engineering, Prentice hall, New Jersey, Englewood Cliffs, 1990.

64. Minh C., etc., The delay estimation under heterogeneous traffic conditions, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation studies*, Vol. 7, 2009.
65. Mirchandani P., L. Head, A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms and analysis, *Transportation Research Part C*, 415-432, Pergamon, 2001.
66. Moore P., Streamlining phase intergreen measurement for traffic signal junction, *Traffic Engineering and Control*, 283-285, July 2011.
67. Namdeo A., G. Mitchell, An empirical study of estimating vehicle emission under cordon an distance based road user charging in Leeds, UK, Leeds, Springer, 2007.
68. Nunez A., Estimating the functional form of road traffic maturity, Lyon, Springer, 2007.
69. Oltsam J., A model for simulation and generation of surrounding vehicles in driving simulators, Sweden, Linköpings Universitet, 2005.
70. Passer V, Transportation operation group, Texas, Texas Transportation Institute, 2002.
71. Queen C., etc., Eliciting a directed acyclic graph for a multivariate time series of vehicle counts in a traffic network, Australian Statistical Publishing Association Inc., *Stat.* 49(3), 221-239, 2007.
72. Rajakumara H., road traffic noise prediction model under interrupted traffic flow condition, Hosur, Springer, 2008.
73. Reijmers Ir., Traffic guidance system, Course ET4-024, Delft University of Technology, 2006-2007.
74. Robertson D. I., J. V. Kennedy, The choice of route, mode, origin and destination by calculation and simulation, Transport and road research laboratory, Laboratory report 877, 1979.
75. Rogers M., Highway engineering, Oxford, Black well publishing Ltd, 2003.
76. Sarraj Y., E. Almasry, Traffic engineering optimal course, The Islamic University of Gasa, ECN 5332, February 2011.

77. Schutter B., B. Moor, Optimal traffic light control for a single intersection, European journal of control, № 4, 260-276, 1998.
78. Shvetsov V., Mathematical modeling of traffic flow, Automation and remote control, Vol. 64, № 11, 1651-1689, 2003.
79. Siebel F., Mauser W., On the fundamental diagram of traffic flow, SIAM J. APPL. MATH., Vol. 66, № 4, 1150-1162, 2006.
80. Singh L., etc., time optimization for traffic signal control using Genetic algorithm, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 2, № 2, November 2009.
81. Slee B. J., Simulating the appearance of rural roads, Transport and road research laboratory, Laboratory report 426, 1979.
82. Souleyrette R., etc., Effectiveness of all-red clearance interval on intersection crashes, Minnesota, Minnesota department of transportation, May 2004.
83. Tian Z., Capacity analysis of traffic-actuated intersections, Massachusetts Institute of Technology, September 2002.
84. Toledo T., Driving behaviour models and challenges, Transport Reviews, Vol. 27, № 1, 65-84, 2007.
85. Ton T., etc., An object – oriented approach to transport modeling: Software development to calculate road traffic noise, Netherlands, Kluwer Academic publisher, 1998.
86. Topic № 625-000-007, Plans preparation manual, Volume 1, Design criteria and process, State of Florida, Department of transportation, 2009.
87. Topic № 750-000-005, Traffic engineering manual, State of Florida, Department of transportation, January 2012.
88. Traffic signal operation (New south wales Australia), RTA-TC-106, Sydney, Transport Management Centre, April 2010.
89. Vigar G., Local “Barriers” to environmentally sustainable transport planning, Local Environment, Vol. 5, № 1, 19-32, 2000.
90. Wagner C., Traffic flow models considering an internal degree of freedom, Journal of statistical physics, Vol. 90, Nos. 5/6, 1998.

91. Wand B., etc., Safety in the road environment a driver behavioural response perspective, Netherlands, Kluwer Academic publisher, 2002.
92. Warberg A., Intelligent traffic light management, arterial simulation and optimization, Technical university of Denmark, June 30, 2008.
93. Webster F. V., Traffic signal settings, Road research technical paper № 39, Road research laboratory, Her Majesty's stationery office, 1958.
94. Wilson R., Many-neighbour interaction and non-locality in traffic models, The European Physical Journal B, Vol. 39, 397-408, 2004.
95. Yu T., On-line traffic signalization using Robust feedback control, Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute, 1997.
96. Antunovic M., H. Glavas, Fuzzy logic approach for traffic signal control of an isolated intersection, [http://bib.irb.hr/datoteka/230701.Antunovic-Glavas\\_FuzzyLogicApproach\\_01a.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/230701.Antunovic-Glavas_FuzzyLogicApproach_01a.pdf)
97. Berlovic R., etc., Adaptive traffic light control in the ChSch model for city traffic, [http://www.uni-due.de/imperia/md/content/ptt/paper/2004\\_citytgf03.pdf](http://www.uni-due.de/imperia/md/content/ptt/paper/2004_citytgf03.pdf)
98. Buckholz J., Traffic signal phasing, [http://www.pdhsite.com/courses/A2\\_Traffic\\_Signal\\_Phasing.pdf](http://www.pdhsite.com/courses/A2_Traffic_Signal_Phasing.pdf)
99. Dotoli M., etc., Coordination and real time optimization of signal timing plans for urban traffic control, [http://dee.poliba.it/LabControlli/file\\_pdf/ICNSC04.pdf](http://dee.poliba.it/LabControlli/file_pdf/ICNSC04.pdf)
100. Gartner N., C. Messer, A. Rathi, Transportation Research Board's Committee A3A11 on Traffic Flow Theory and Characteristics, Federal Highway Administration, <http://www.tfhr.gov/research>
101. Gershenson C., D. Rosenblueth, Self-Organizing traffic lights at multiple-street intersection, <http://arxiv.org/abs/1104.2829v1>
102. Gradinescu V., etc., Adaptive traffic light using Car-to-Car communication, <http://www.cs.rutgers.edu/~iftode/traffic07.pdf>
103. Huang Y., T. Chung, Modelling and analysis of traffic light control system using Timed coloured Petri nets, <http://intechopen.com/books/petri-nets-applications/modelling-and-analysis-of-traffic-light-control-systems-using-timed-coloured-petri-nets>

104. Kazahama T., etc., Evaluating a signal control system using a real-time traffic simulator connected to a traffic signal controller, [http://www.mssanz.org.au/MODSIM07/papers/55\\_s53/EvaluatingASignals53\\_Kazama\\_1.pdf](http://www.mssanz.org.au/MODSIM07/papers/55_s53/EvaluatingASignals53_Kazama_1.pdf)
105. Krajzewicz D., etc., Simulation of modern traffic light control system using the open source traffic simulation SUMO, <http://elib.dlr.de/21012>
106. Logghe S., Immers I., Heterogeneous traffic flow modeling with the LWR model using passenger-car equivalents, <http://www.kuleuven.be/traffic/dwn/p2003e.pdf>
107. Muench S., Signalized intersections, <http://courses.washington.edu>
108. Murat Y., E. Gedizlioglu, A new approach for fuzzy traffic signal control, [http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/31\\_murat.pdf](http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/31_murat.pdf)
109. Online lab manual, [http://www.webs1.uidaho.edu/niatt\\_labmanual](http://www.webs1.uidaho.edu/niatt_labmanual)
110. Salomons I., Optimising cycle times of controlled intersections with VRIGen, [http://www.cvs-congres.nl/cvspdfdocs/cvs08\\_14.pdf](http://www.cvs-congres.nl/cvspdfdocs/cvs08_14.pdf)
111. Signal timing tutorial, <http://www.webs1.uidaho.edu/niattproject>
112. Simulation Modelling Applied to Road Transport European Scheme Tests, „Smartest” Project, European Commission, 1999, <http://www.its.leeds.ac.uk/smartest>.
113. Stein H., Traffic signal change intervals: Policies, practice and safety, <http://saferstreetsla.org/wp-content/uploads/documents/Traffic%20Signal%20Change%20Intervals-Stein.pdf>
114. Toledo B., etc., universal and non-universal features in a model of city traffic, [http://fisica.ciencias.uchile.cl/~jrogan/investigacion/papers/green\\_wave.pdf](http://fisica.ciencias.uchile.cl/~jrogan/investigacion/papers/green_wave.pdf)
115. Traffic signal design – I, NPTEL, May 24, 2006, [http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/41-Ltexhtml/nptel\\_ceTEI\\_L41.pdf](http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/41-Ltexhtml/nptel_ceTEI_L41.pdf)
116. Traffic stream models, [http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/33-Ltexhtml/nptel\\_ceTEI\\_L33.pdf](http://www.cdeep.iitb.ac.in/nptel/Civil%20Engineering/Transportation%20Engg%201/33-Ltexhtml/nptel_ceTEI_L33.pdf)
117. Yatmiko W., etc., Traffic signal control modification based on self-organization in Indonesia, <http://staff.ui.ac.id/internal/131672402/publikasi/ben.pdf>



## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Салиев Д. Н., **Анализ на програмното осигуряване за моделиране на пътното движение**, Международна научно-техническа конференция по ДВГ и моторни превозни средства Trans&MOTAUTO' 06 - сборник доклади. Варна, Октомври 2006 г.

2. Салиев Д. Н., **Алгоритъм за изследване на транспортните потоци от един наблюдател**, Международна научно-техническа конференция по ДВГ и моторни превозни средства Trans&MOTAUTO' 07 - сборник доклади. Русе, Ноември 2007 г.

3. Маджарски Е. М., Д. Н. Салиев, А. И. Павлов, **Оптимизиране на времената на фазите на сложно кръстовище в гр. София**, Международна научно-техническа конференция по ДВГ и моторни превозни средства Trans&MOTAUTO' 08 - сборник доклади. Созопол, Септември 2008 г.

4. Маджарски Е. М., Д. Н. Салиев, Г. Д. Младенов, Г. Р. Станев, **Оптимизиране на движението на светлинно регулирано кръстовище с голямо транспортно натоварване**, Международна научно-техническа конференция по ДВГ и моторни превозни средства Trans&MOTAUTO' 09 - сборник доклади. Слънчев бряг, Септември 2009 г.

5. Салиев Д. Н., **Алгоритъм за оптимизация на фазите и цикъла на светлинно регулирани кръстовища при промяна на параметрите, определящи тяхната продължителност**, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии Бул Транс 2010 - сборник доклади. Созопол, Септември 2010 г.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

към дисертация за придобиване на образователна и научна степен  
„Доктор” на тема: МОДЕЛИРАНЕ НА ПЪТНОТРАНСПОРТНОТО  
ДВИЖЕНИЕ ПРИ НАСТЪПВАНЕ НА АВАРИЙНИ СИТУАЦИИ

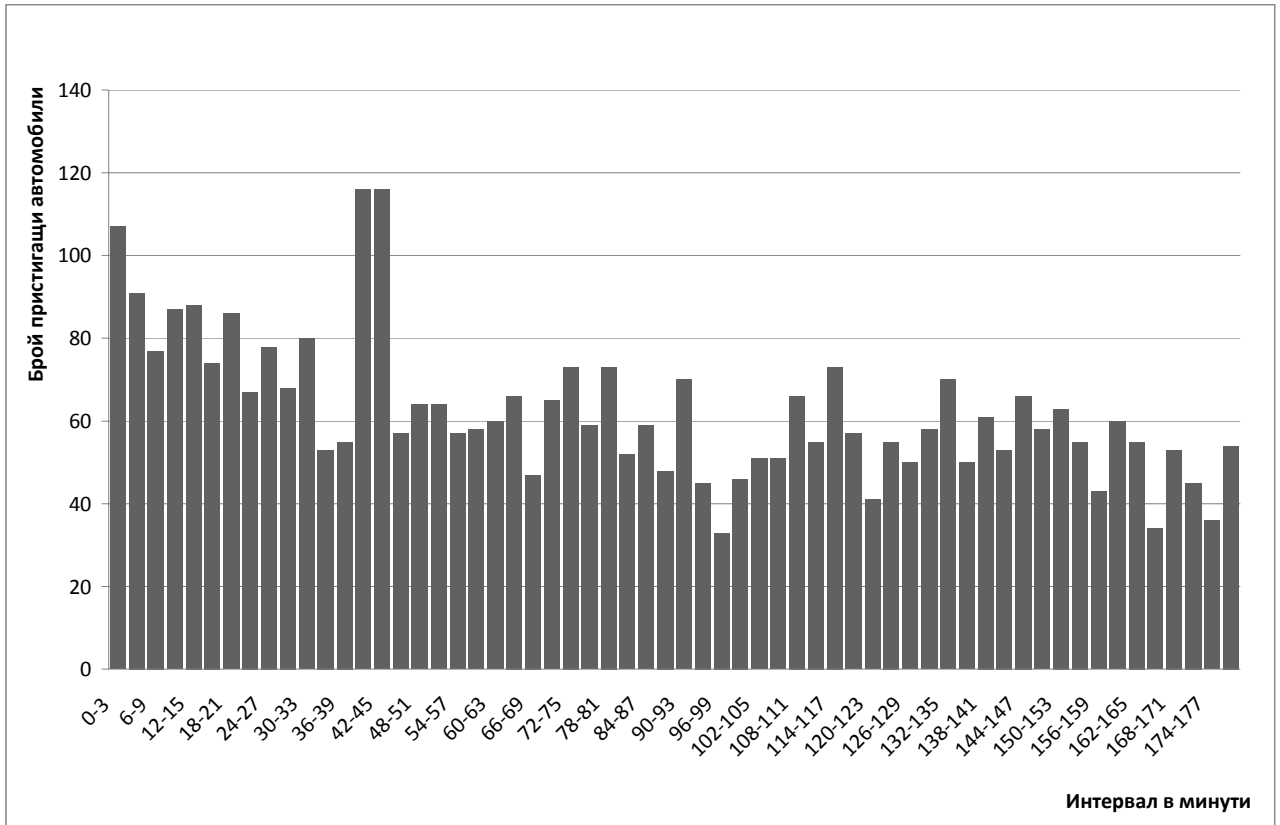
Автор: маг. инж. Дурхан Назъмов Салиев

# **ПРИЛОЖЕНИЕ I**

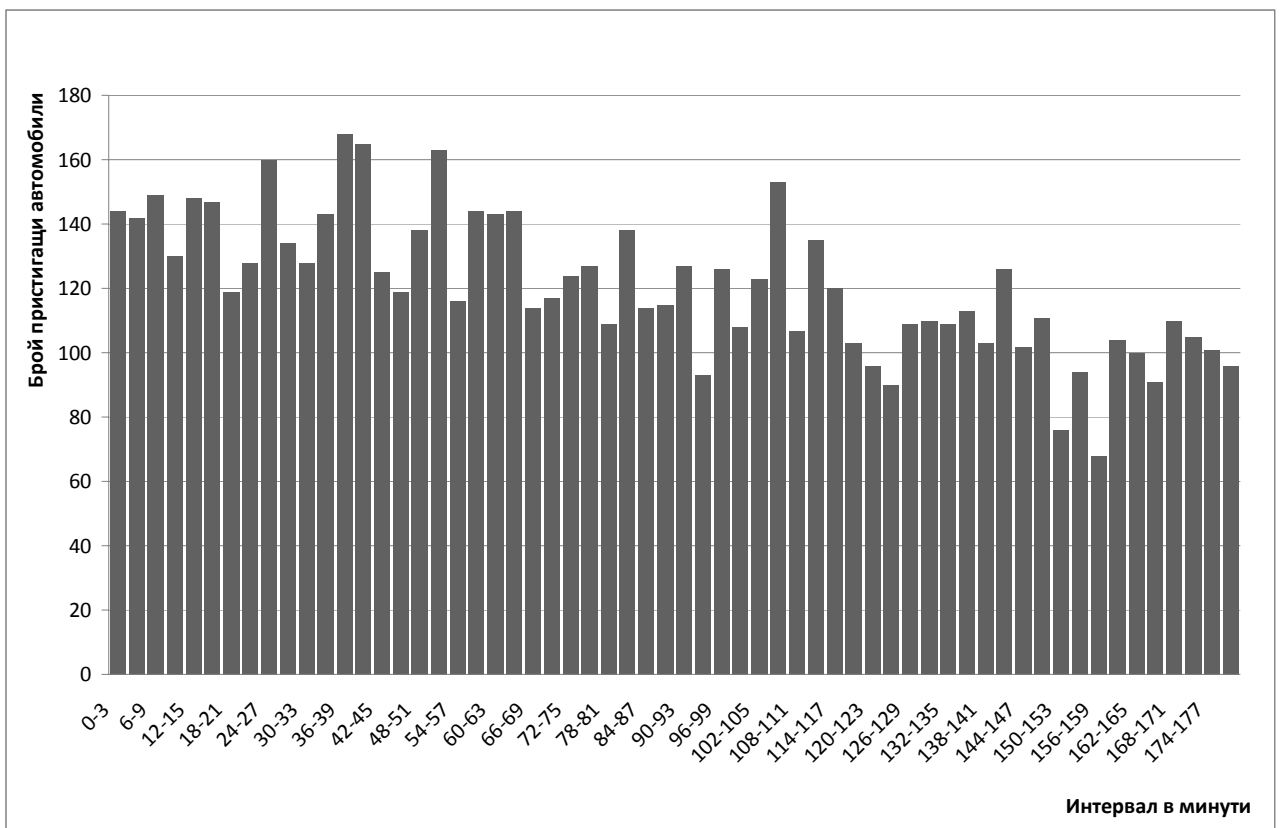
Таблица III.1 Интензивност на транспортните потоци за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Петък

Интервал, мин	Брой на пристигащите автомобили за интервал			
	поток 1	поток 2	поток 3	поток 4
0-3	107	144	11	10
3-6	91	142	16	20
6-9	77	149	14	19
9-12	87	130	9	9
12-15	88	148	12	12
15-18	74	147	13	20
18-21	86	119	7	9
21-24	67	128	16	19
24-27	78	160	14	21
27-30	68	134	10	14
30-33	80	128	11	13
33-36	53	143	18	20
36-39	55	168	16	12
39-42	116	165	14	16
42-45	116	125	12	21
45-48	57	119	19	9
48-51	64	138	18	12
51-54	64	163	18	18
54-57	57	116	13	16
57-60	58	144	8	17
60-63	60	143	20	14
63-66	66	144	22	12
66-69	47	114	14	15
69-72	65	117	17	17
72-75	73	124	14	10
75-78	59	127	13	16
78-81	73	109	9	11
81-84	52	138	15	20
84-87	59	114	17	24
87-90	48	115	12	11

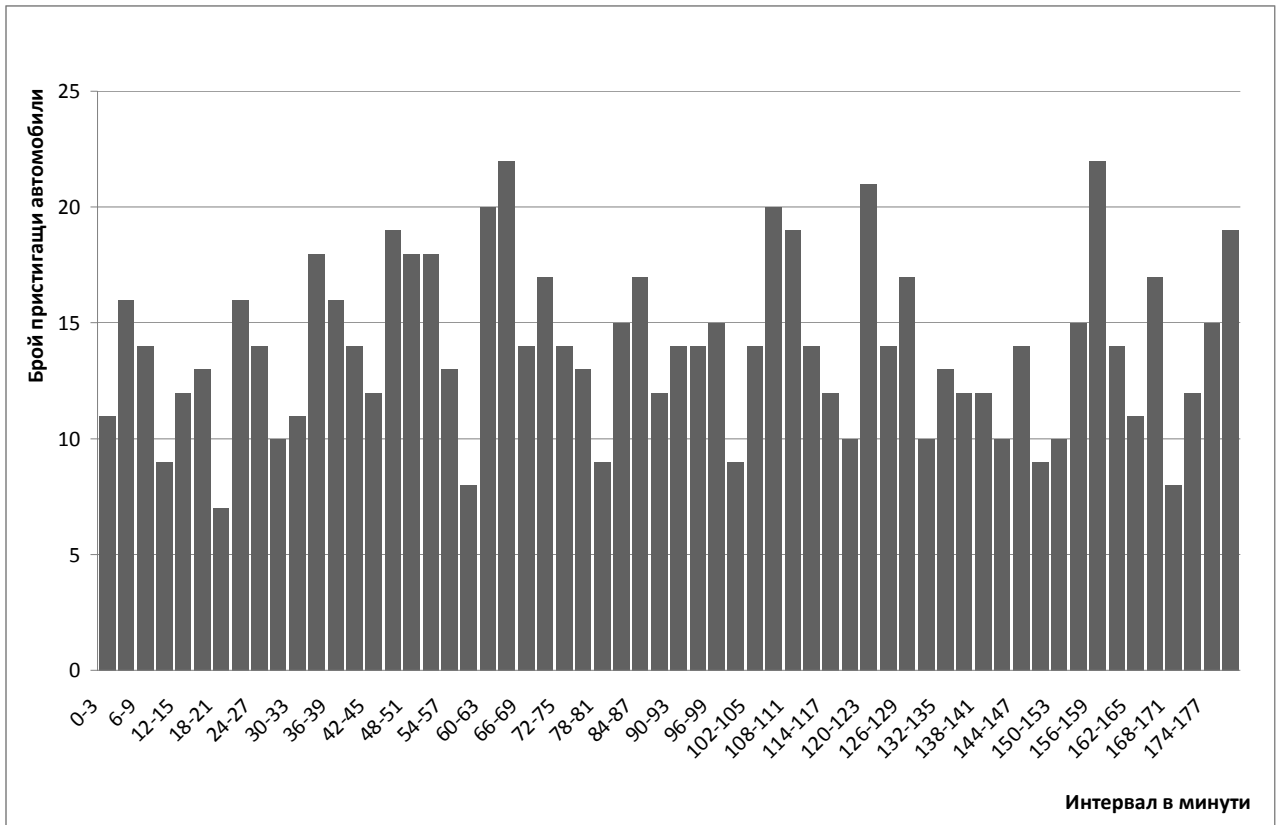
Таблица III.1 – продължение				
90-93	70	127	14	12
93-96	45	93	14	14
96-99	33	126	15	15
99-102	46	108	9	9
102-105	51	123	14	21
105-108	51	153	20	14
108-111	66	107	19	17
111-114	55	135	14	33
114-117	73	120	12	6
117-120	57	103	10	18
120-123	41	96	21	18
123-126	55	90	14	13
126-129	50	109	17	11
129-132	58	110	10	13
132-135	70	109	13	14
135-138	50	113	12	16
138-141	61	103	12	7
141-144	53	126	10	21
144-147	66	102	14	15
147-150	58	111	9	8
150-153	63	76	10	10
153-156	55	94	15	11
156-159	43	68	22	15
159-162	60	104	14	12
162-165	55	100	11	18
165-168	34	91	17	15
168-171	53	110	8	15
171-174	45	105	12	15
174-177	36	101	15	7
177-180	54	96	19	9
<b>Общо за периода на изследване</b>	<b>3752</b>	<b>7264</b>	<b>838</b>	<b>879</b>



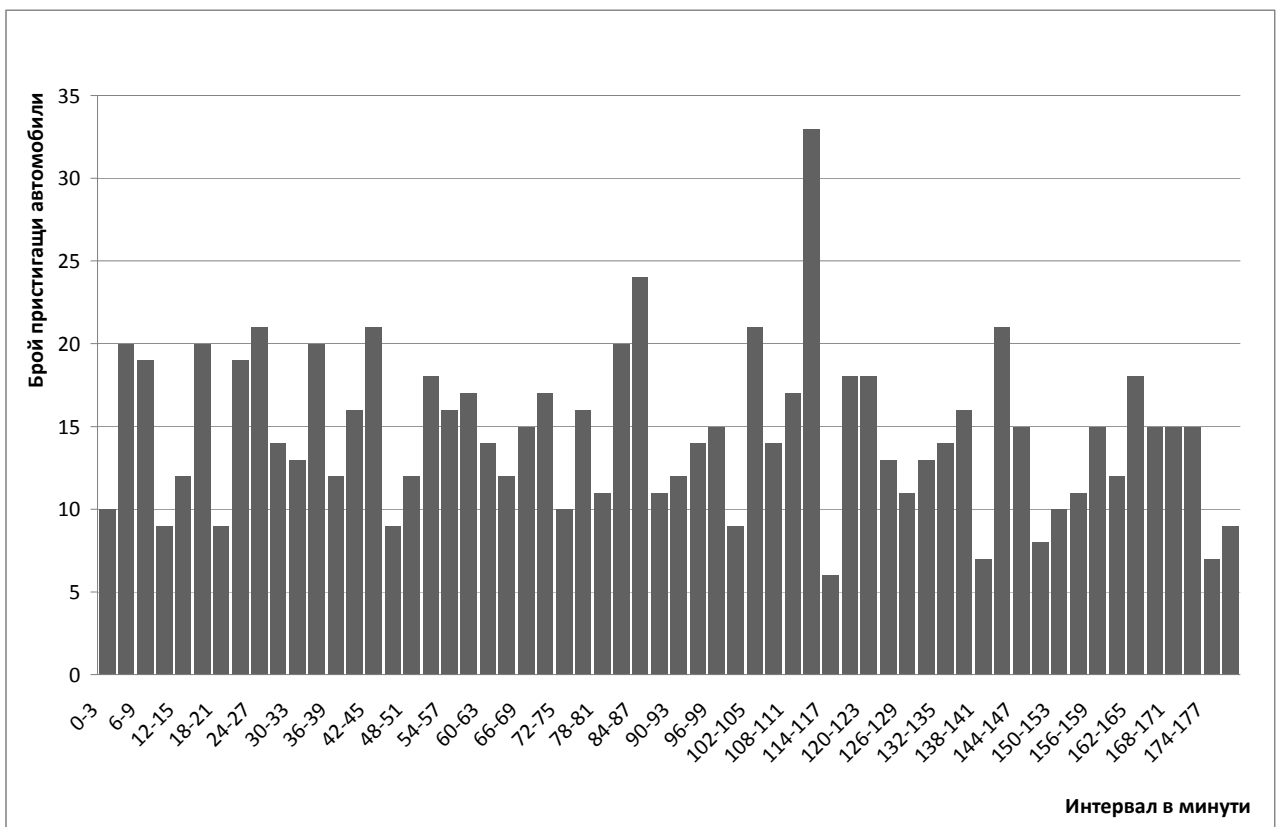
Фиг. III.1 Интензивност на поток 1 за ден Петък



Фиг. III.2 Интензивност на поток 2 за ден Петък



Фиг. П.3 Интензивност на поток 3 за ден Петък



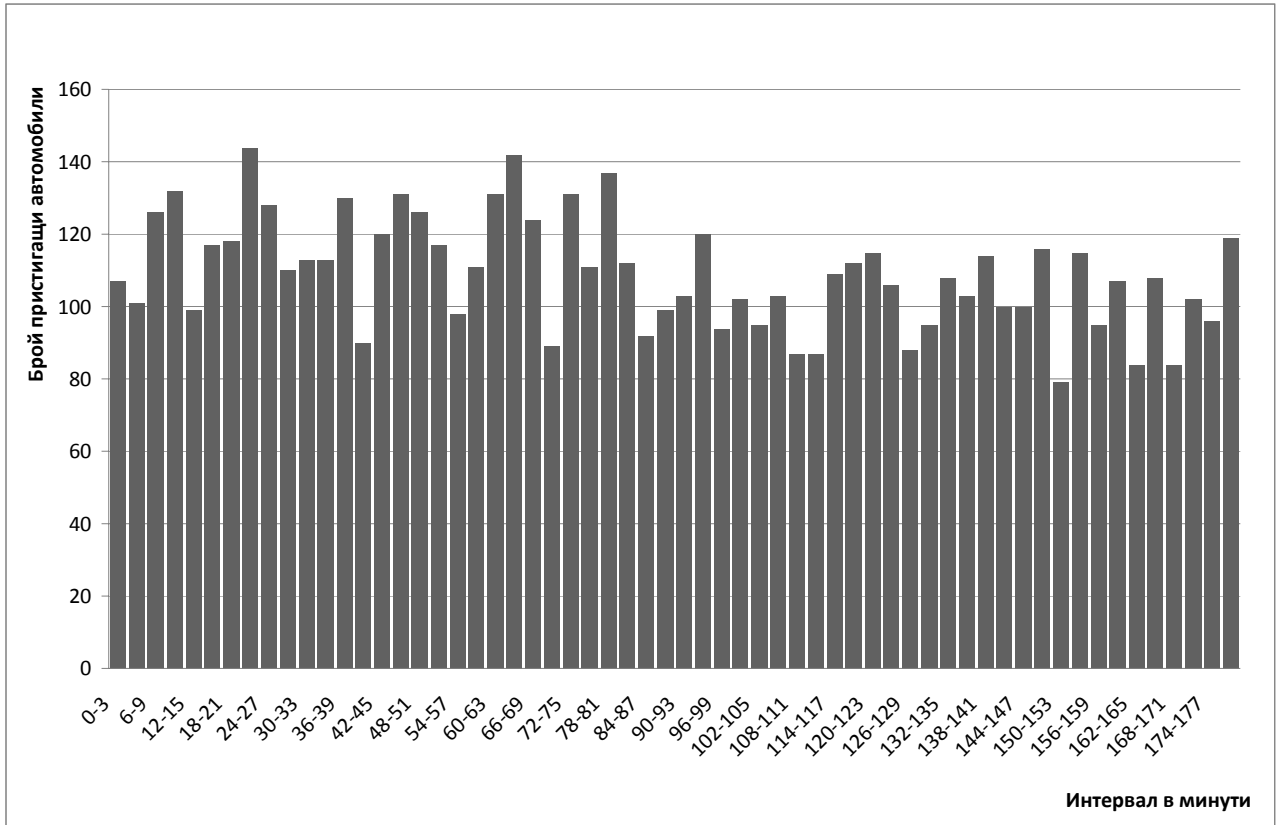
Фиг. П.4 Интензивност на поток 4 за ден Петък

Таблица III.2 Интензивност на транспортните потоци за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

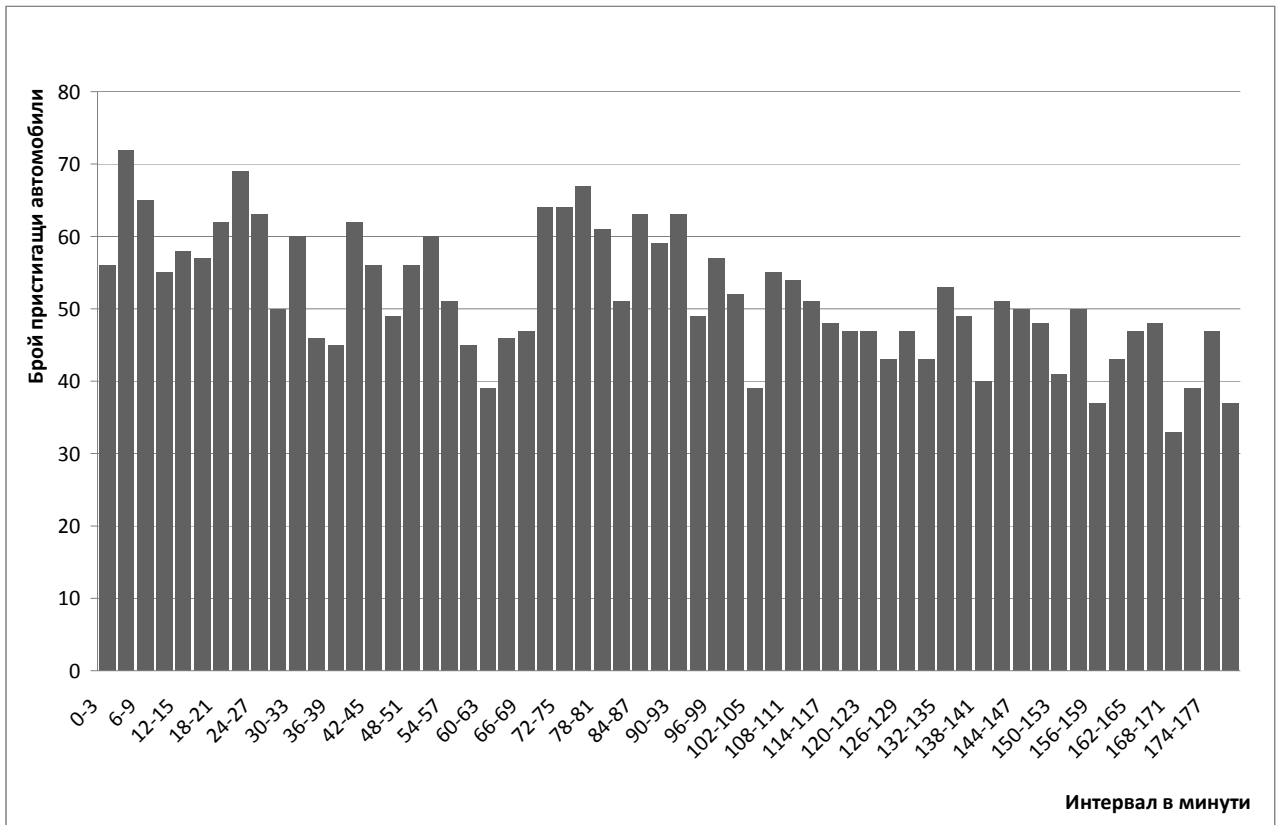
Интервал, мин	Брой на пристигащите автомобили за интервал			
	поток 1	поток 2	поток 3	поток 4
0-3	107	56	18	13
3-6	101	72	10	19
6-9	126	65	17	13
9-12	132	55	15	14
12-15	99	58	17	22
15-18	117	57	13	12
18-21	118	62	15	12
21-24	144	69	16	8
24-27	128	63	9	12
27-30	110	50	15	15
30-33	113	60	5	26
33-36	113	46	17	15
36-39	130	45	17	12
39-42	90	62	21	17
42-45	120	56	13	19
45-48	131	49	13	21
48-51	126	56	13	22
51-54	117	60	17	16
54-57	98	51	10	20
57-60	111	45	20	16
60-63	131	39	13	16
63-66	142	46	16	11
66-69	124	47	16	17
69-72	89	64	10	21
72-75	131	64	9	17
75-78	111	67	15	18
78-81	137	61	10	18
81-84	112	51	17	15
84-87	92	63	17	18
87-90	99	59	8	21



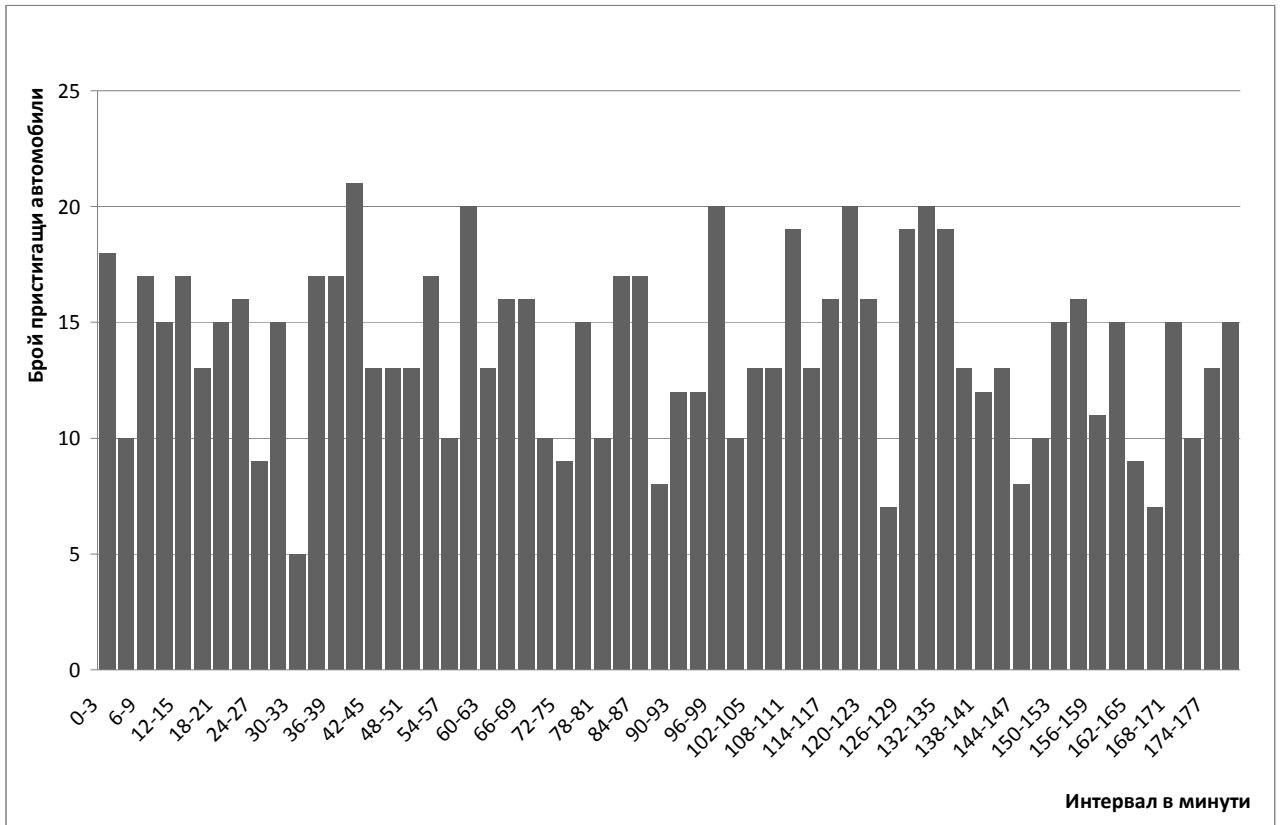
Таблица III.2 – продължение				
90-93	103	63	12	15
93-96	120	49	12	14
96-99	94	57	20	17
99-102	102	52	10	12
102-105	95	39	13	17
105-108	103	55	13	8
108-111	87	54	19	12
111-114	87	51	13	23
114-117	109	48	16	13
117-120	112	47	20	22
120-123	115	47	16	16
123-126	106	43	7	18
126-129	88	47	19	9
129-132	95	43	20	8
132-135	108	53	19	17
135-138	103	49	13	16
138-141	114	40	12	9
141-144	100	51	13	16
144-147	100	50	8	8
147-150	116	48	10	20
150-153	79	41	15	11
153-156	115	50	16	18
156-159	95	37	11	14
159-162	107	43	15	10
162-165	84	47	9	16
165-168	108	48	7	14
168-171	84	33	15	9
171-174	102	39	10	7
174-177	96	47	13	9
177-180	119	37	15	13
<b>Общо за периода на изследване</b>	<b>6545</b>	<b>3106</b>	<b>833</b>	<b>907</b>



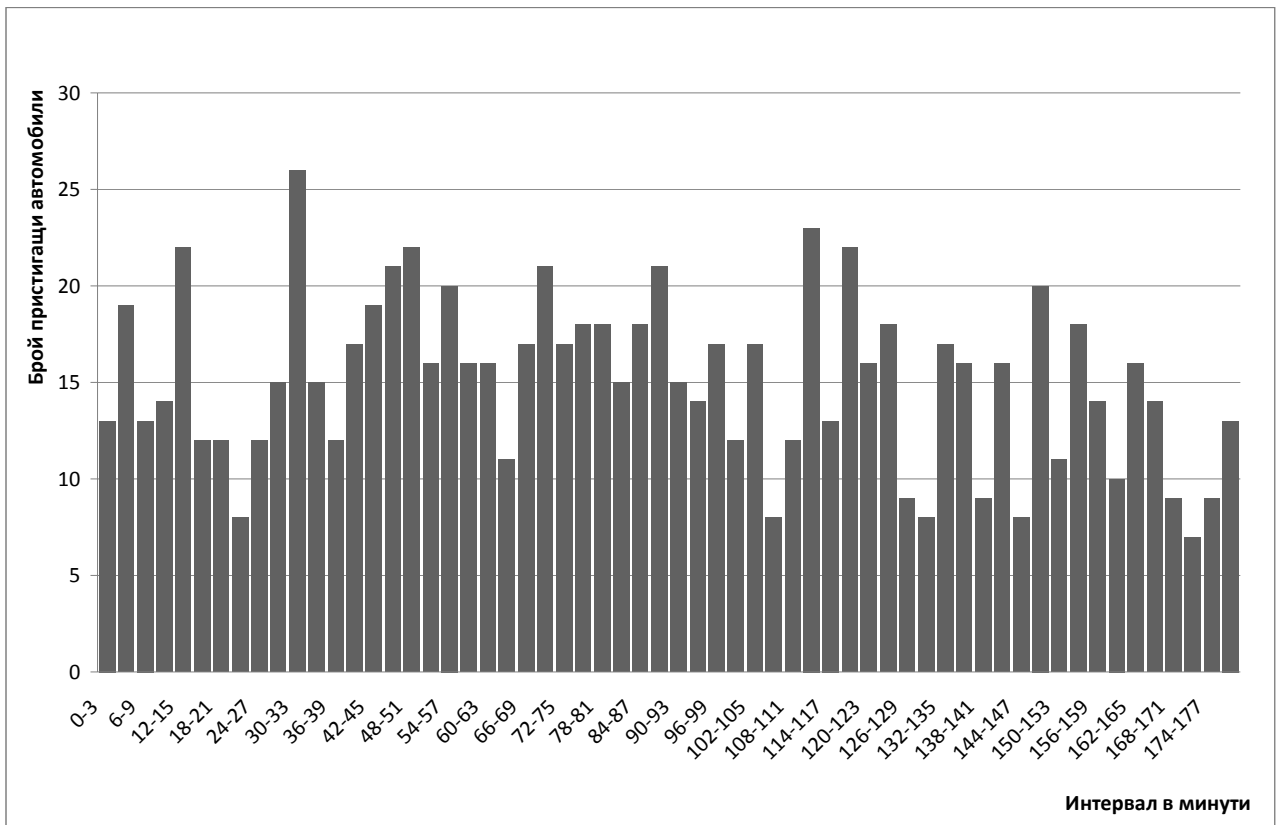
Фиг. П.5 Интензивност на поток 1 за ден Неделя



Фиг. П.6 Интензивност на поток 2 за ден Неделя



Фиг. III.7 Интензивност на поток 3 за ден Неделя



Фиг. III.8 Интензивност на поток 4 за ден Неделя

Таблица III.3 Пропускателна способност за клон от към автомагистрала „Тракия” за ден Петък

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	40	21	1,90
2	38	21	1,81
3	38	21	1,81
4	35	21	1,67
5	36	21	1,71
6	42	21	2,00
7	41	21	1,95
8	43	21	2,05
9	42	21	2,00
10	38	21	1,81
11	34	21	1,62
12	41	21	1,95
13	43	21	2,05
14	40	21	1,90
15	42	21	2,00
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,88</b>

Таблица III.4 Пропускателна способност за клон от към бул. „Цариградско шосе” за ден Петък

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	71	33	2,15
2	78	33	2,36
3	75	33	2,27
4	68	33	2,06
5	76	33	2,30
6	74	33	2,24
7	78	33	2,36
8	79	33	2,39
9	75	33	2,27
10	69	33	2,09
11	83	33	2,52
12	78	33	2,36
13	76	33	2,30
14	79	33	2,39
15	82	33	2,48
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>2,31</b>

Таблица III.5 Пропускателна способност за клон от към жк. „Дружба” за ден  
Петък

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	9	21	0,43
2	10	21	0,48
3	12	21	0,57
4	12	21	0,57
5	10	21	0,48
6	10	21	0,48
7	9	21	0,43
8	8	21	0,38
9	9	21	0,43
10	10	21	0,48
11	8	21	0,38
12	8	21	0,38
13	8	21	0,38
14	10	21	0,48
15	12	21	0,57
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,46</b>

Таблица III.6 Пропускателна способност за клон от към кв. „Горубляне” за ден  
Петък

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	8	21	0,38
2	9	21	0,43
3	12	21	0,57
4	10	21	0,48
5	9	21	0,43
6	10	21	0,48
7	10	21	0,48
8	10	21	0,48
9	8	21	0,38
10	8	21	0,38
11	10	21	0,48
12	9	21	0,43
13	11	21	0,52
14	10	21	0,48
15	12	21	0,57
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,46</b>

Таблица III.7 Пропускателна способност за клон от към автомагистрала „Тракия” за ден Неделя

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	41	33	1,24
2	45	33	1,36
3	42	33	1,27
4	40	33	1,21
5	41	33	1,24
6	42	33	1,27
7	41	33	1,24
8	43	33	1,30
9	42	33	1,27
10	45	33	1,36
11	48	33	1,45
12	43	33	1,30
13	47	33	1,42
14	45	33	1,36
15	40	33	1,21
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,30</b>

Таблица III.8 Пропускателна способност за клон от към бул. „Цариградско шосе” за ден Неделя

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	42	21	2,00
2	40	21	1,90
3	37	21	1,76
4	38	21	1,81
5	41	21	1,95
6	42	21	2,00
7	47	21	2,24
8	40	21	1,90
9	38	21	1,81
10	46	21	2,19
11	41	21	1,95
12	43	21	2,05
13	41	21	1,95
14	40	21	1,90
15	38	21	1,81
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,95</b>

Таблица III.9 Пропускателна способност за клон от към ж.к. „Дружба” за ден  
Неделя

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	15	21	0,71
2	10	21	0,48
3	17	21	0,81
4	12	21	0,57
5	14	21	0,67
6	16	21	0,76
7	18	21	0,86
8	15	21	0,71
9	14	21	0,67
10	11	21	0,52
11	11	21	0,52
12	16	21	0,76
13	18	21	0,86
14	16	21	0,76
15	16	21	0,76
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,70</b>

Таблица III.10 Пропускателна способност за клон от към кв. „Горубляне” за ден  
Неделя

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	12	21	0,57
2	15	21	0,71
3	16	21	0,76
4	14	21	0,67
5	18	21	0,86
6	17	21	0,81
7	16	21	0,76
8	18	21	0,86
9	13	21	0,62
10	12	21	0,57
11	15	21	0,71
12	16	21	0,76
13	14	21	0,67
14	15	21	0,71
15	11	21	0,52
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,70</b>

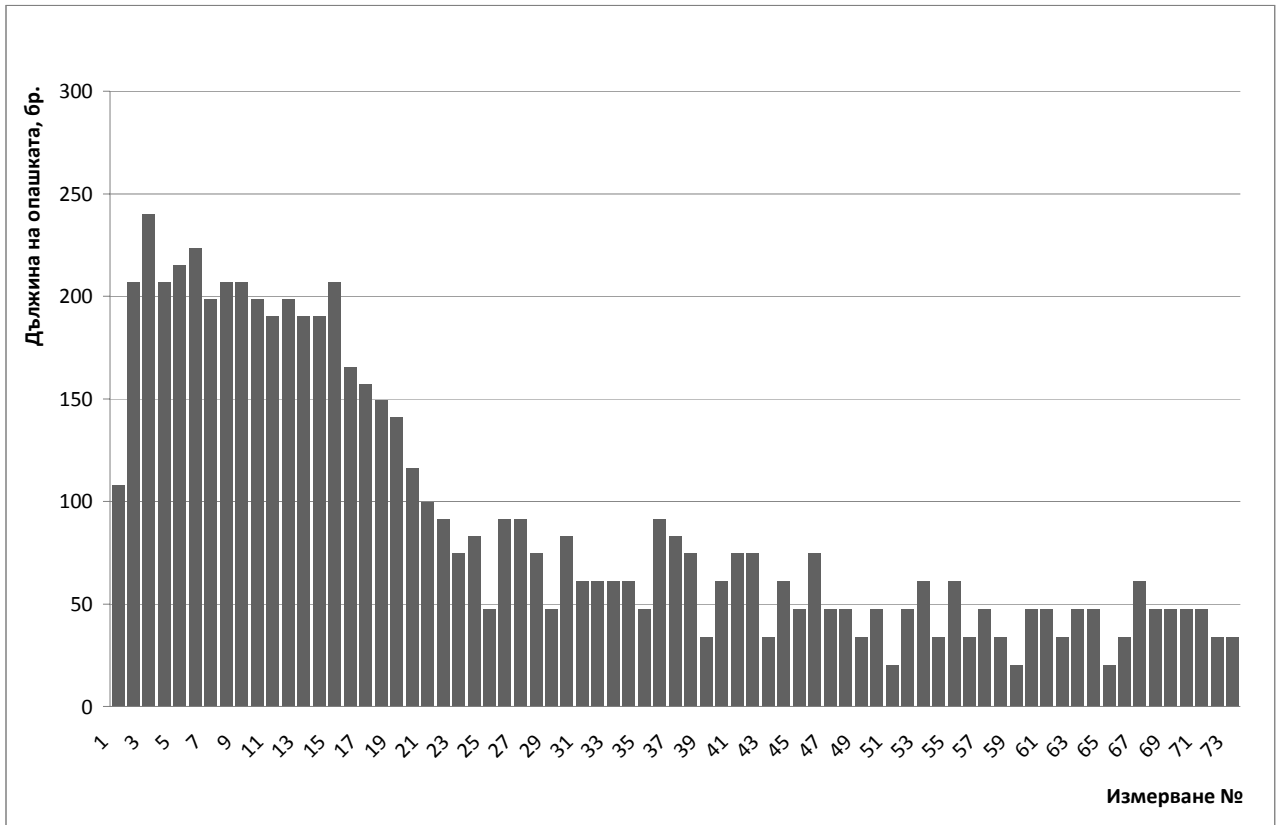
Таблица III.11 Дължини на опашките по потоци за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Петък

Измерване №	Дължини на опашката, бр.			
	поток 1	поток 2	поток 3	поток 4
1	108	209	48	24
2	207	300	66	60
3	240	226	72	72
4	207	259	69	72
5	215	242	78	66
6	224	250	78	60
7	199	217	74	54
8	207	176	78	54
9	207	201	74	60
10	199	184	72	60
11	191	193	87	66
12	199	209	84	78
13	191	234	66	78
14	191	234	48	54
15	207	201	50	66
16	166	193	51	72
17	158	193	62	66
18	149	135	57	60
19	141	168	65	72
20	116	217	69	60
21	100	259	81	72
22	92	300	66	72
23	75	325	68	78
24	83	366	63	72
25	48	358	74	66
26	92	382	71	66
27	92	399	71	66
28	75	399	69	78
29	48	407	68	78
30	83	432	65	60
31	61	457	63	60
32	61	481	63	66
33	61	481	72	66
34	61	506	81	60
35	48	539	68	66
36	92	556	65	60
37	83	539	66	60

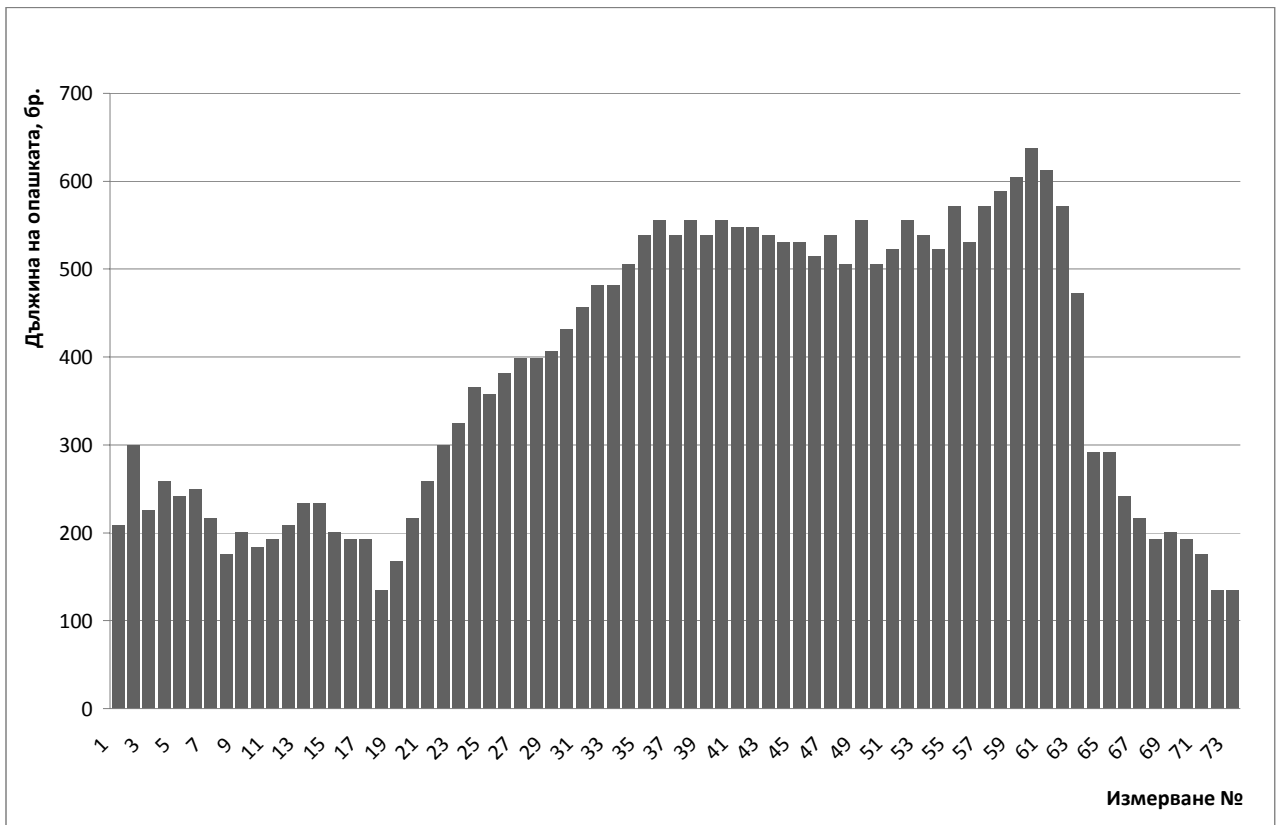


Таблица III.11 – продължение

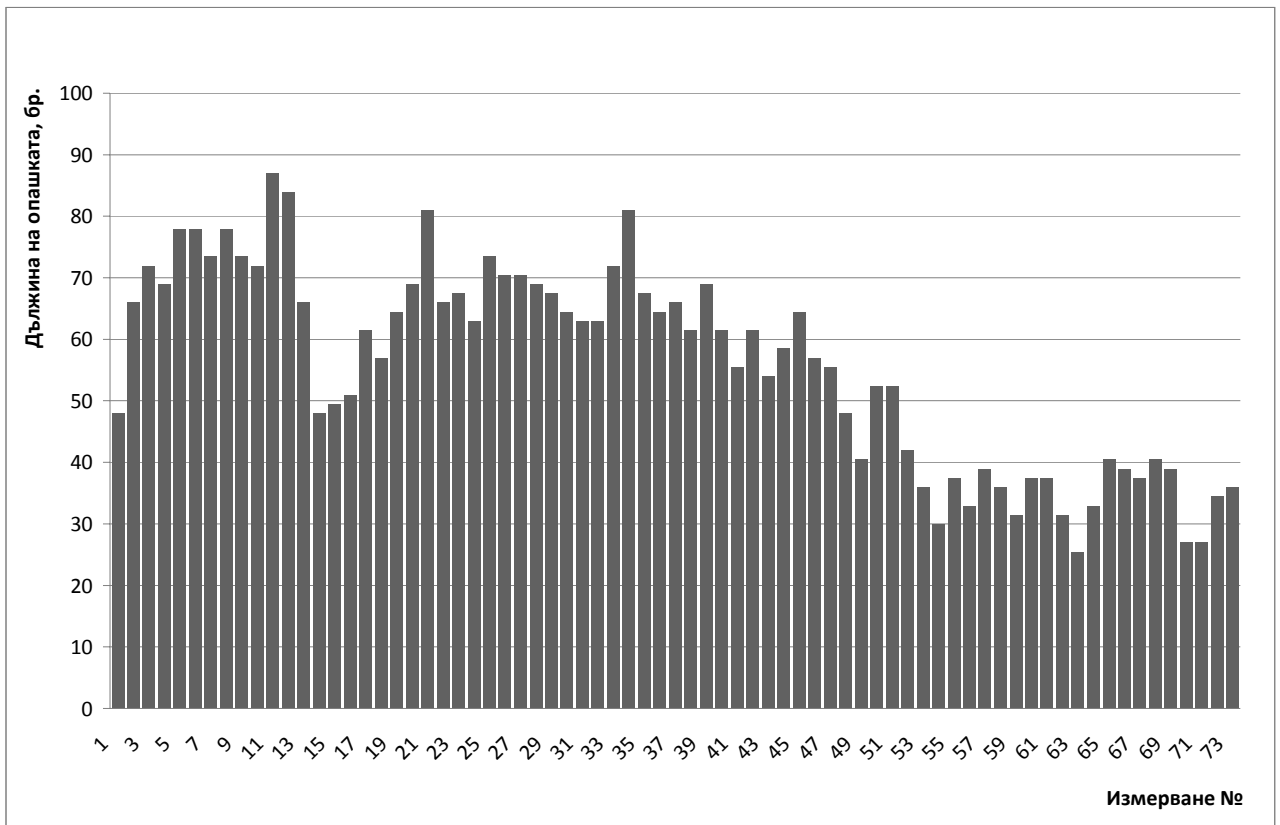
38	75	556	62	66
39	34	539	69	72
40	61	556	62	66
41	75	547	56	66
42	75	547	62	66
43	34	539	54	60
44	61	531	59	66
45	48	531	65	60
46	75	514	57	60
47	48	539	56	54
48	48	506	48	60
49	34	556	41	66
50	48	506	53	66
51	20	523	53	66
52	48	556	42	66
53	61	539	36	66
54	34	523	30	72
55	61	572	38	72
56	34	531	33	72
57	48	572	39	78
58	34	589	36	72
59	20	605	32	60
60	48	638	38	60
61	48	613	38	60
62	34	572	32	66
63	48	473	26	60
64	48	292	33	66
65	20	292	41	72
66	34	242	39	54
67	61	217	38	48
68	48	193	41	48
69	48	201	39	48
70	48	193	27	42
71	48	176	27	42
72	34	135	35	48
73	34	135	36	36
<b>Средна дължина на опашката</b>	<b>91</b>	<b>380</b>	<b>56</b>	<b>63</b>



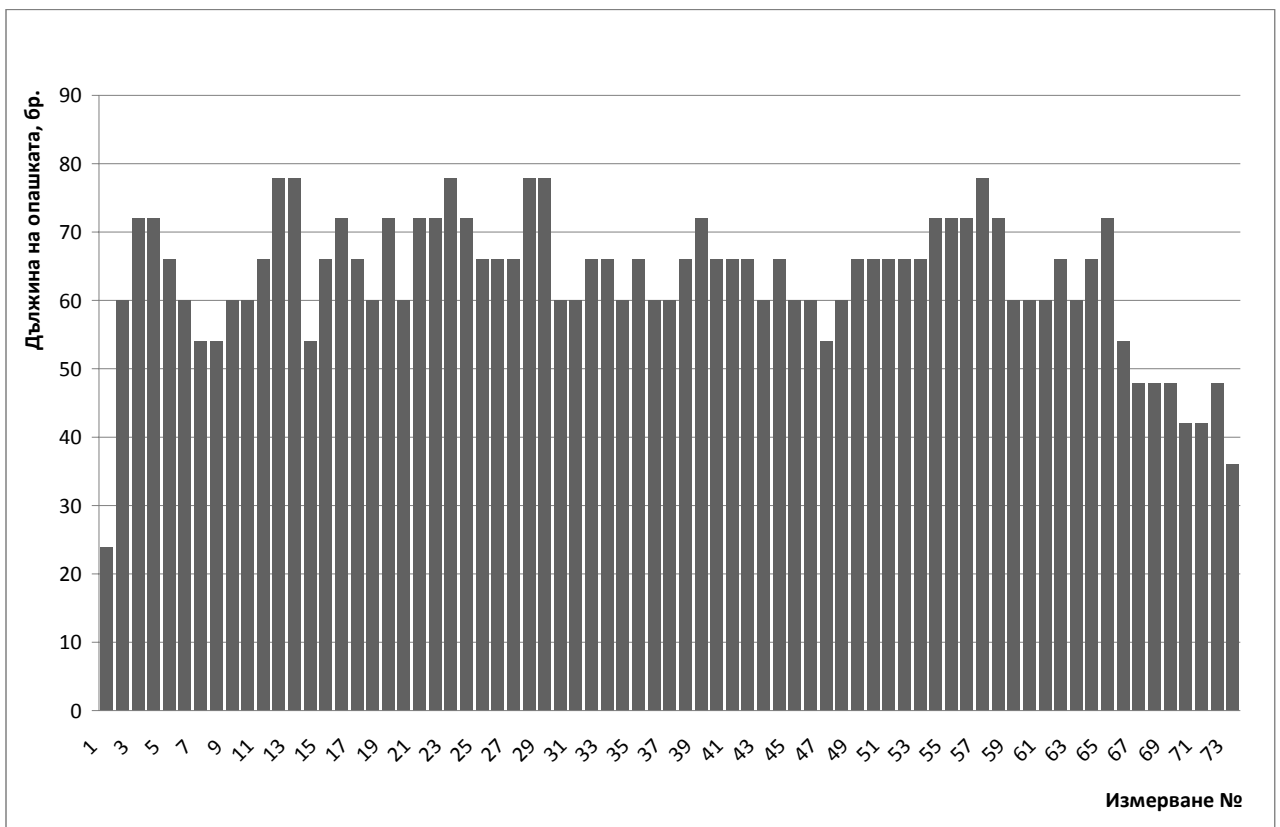
Фиг. III.9 Дължини на опашката за поток 1 за ден Петък



Фиг. III.10 Дължини на опашката за поток 2 за ден Петък



Фиг. III.11 Дължини на опашката за поток 3 за ден Петък

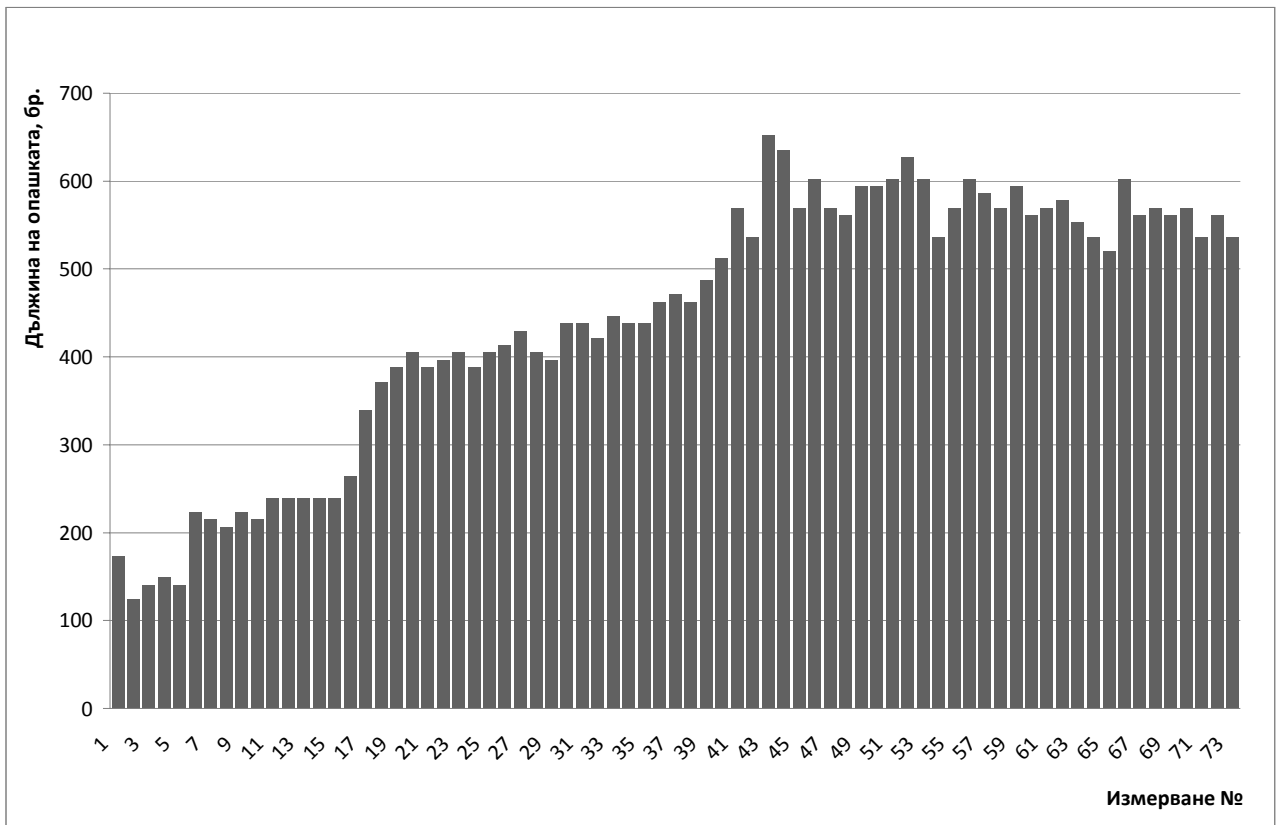


Фиг. III.12 Дължини на опашката за поток 4 за ден Петък

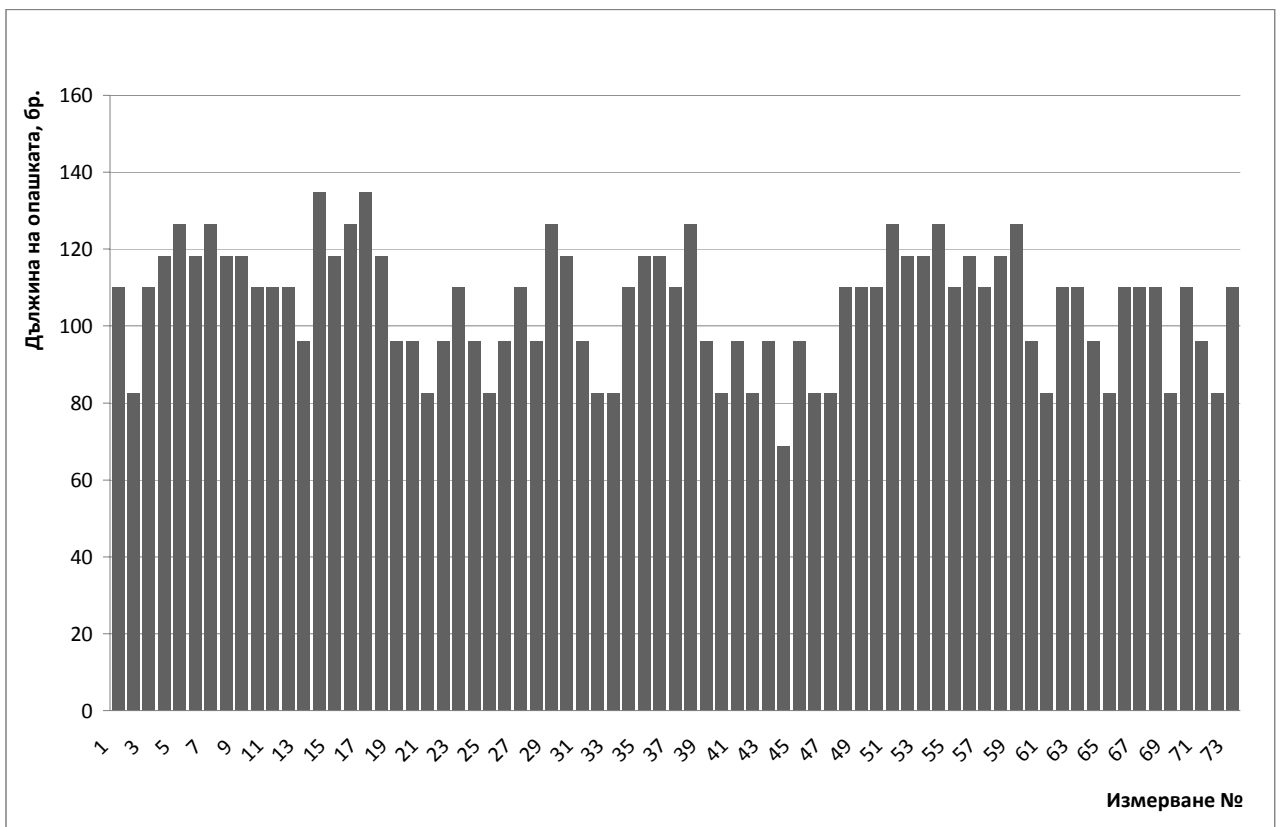
Таблица III.12 Дължини на опашките по потоци за кръстовището на бул. „Цариградско шосе” и ул. „Димитър Пешев” за ден Неделя

Измерване №	Дължини на опашката, бр.			
	поток 1	поток 2	поток 3	поток 4
1	174	110	20	20
2	125	83	17	20
3	141	110	12	23
4	149	118	11	24
5	141	127	14	18
6	224	118	17	14
7	215	127	15	17
8	207	118	12	17
9	224	118	12	18
10	215	110	14	15
11	240	110	8	14
12	240	110	6	6
13	240	96	11	6
14	240	135	6	8
15	240	118	21	6
16	265	127	24	15
17	339	135	23	20
18	372	118	24	20
19	389	96	23	12
20	405	96	20	11
21	389	83	18	15
22	397	96	23	14
23	405	110	24	17
24	389	96	18	21
25	405	83	21	24
26	413	96	23	14
27	430	110	21	15
28	405	96	21	18
29	397	127	21	14
30	438	118	24	12
31	438	96	23	15
32	422	83	17	14
33	446	83	14	18
34	438	110	14	6
35	438	118	20	14
36	463	118	23	21
37	471	110	20	26

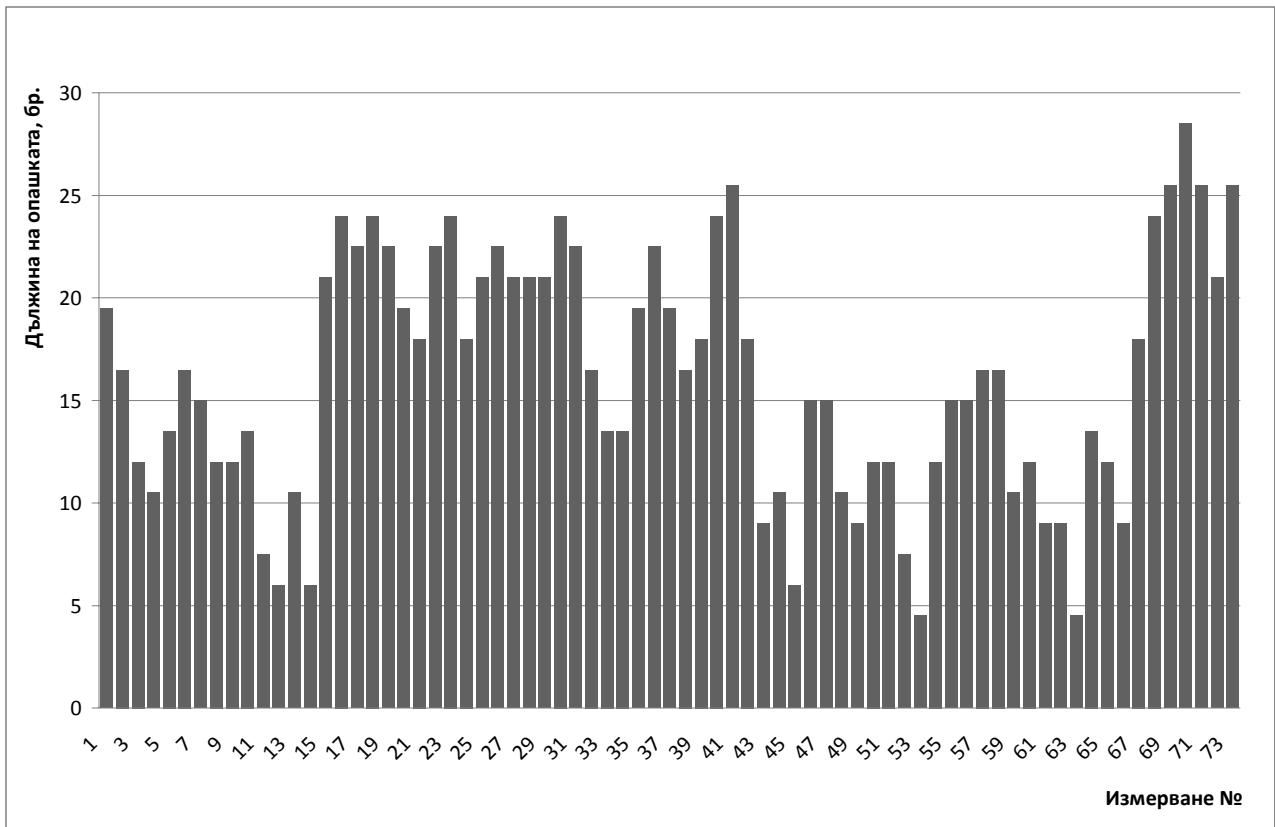
Таблица III.12 – продължение				
38	463	127	17	29
39	488	96	18	23
40	512	83	24	21
41	570	96	26	29
42	537	83	18	15
43	653	96	9	26
44	636	69	11	29
45	570	96	6	30
46	603	83	15	26
47	570	83	15	21
48	562	110	11	24
49	595	110	9	20
50	595	110	12	18
51	603	127	12	14
52	628	118	8	17
53	603	118	5	20
54	537	127	12	17
55	570	110	15	8
56	603	118	15	17
57	587	110	17	18
58	570	118	17	12
59	595	127	11	12
60	562	96	12	15
61	570	83	9	18
62	578	110	9	11
63	554	110	5	9
64	537	96	14	9
65	521	83	12	5
66	603	110	9	11
67	562	110	18	8
68	570	110	24	12
69	562	83	26	6
70	570	110	29	8
71	537	96	26	5
72	562	83	21	5
73	537	110	26	11
<b>Средна дължина на опашката</b>	<b>444</b>	<b>106</b>	<b>16</b>	<b>16</b>



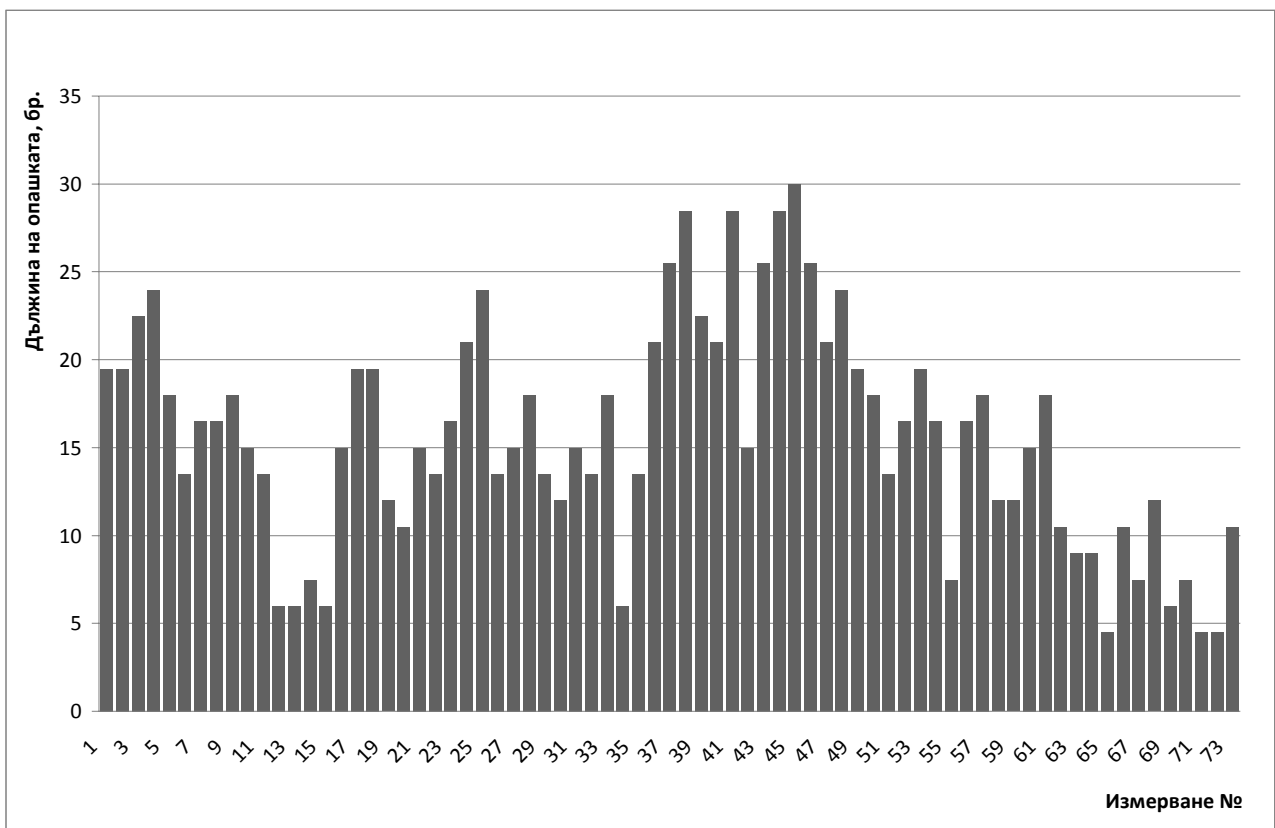
Фиг. III.13 Дължини на опашката за поток 1 за ден Неделя



Фиг. III.14 Дължини на опашката за поток 2 за ден Неделя



Фиг. III.15 Дължини на опашката за поток 3 за ден Неделя



Фиг. III.16 Дължини на опашката за поток 4 за ден Неделя

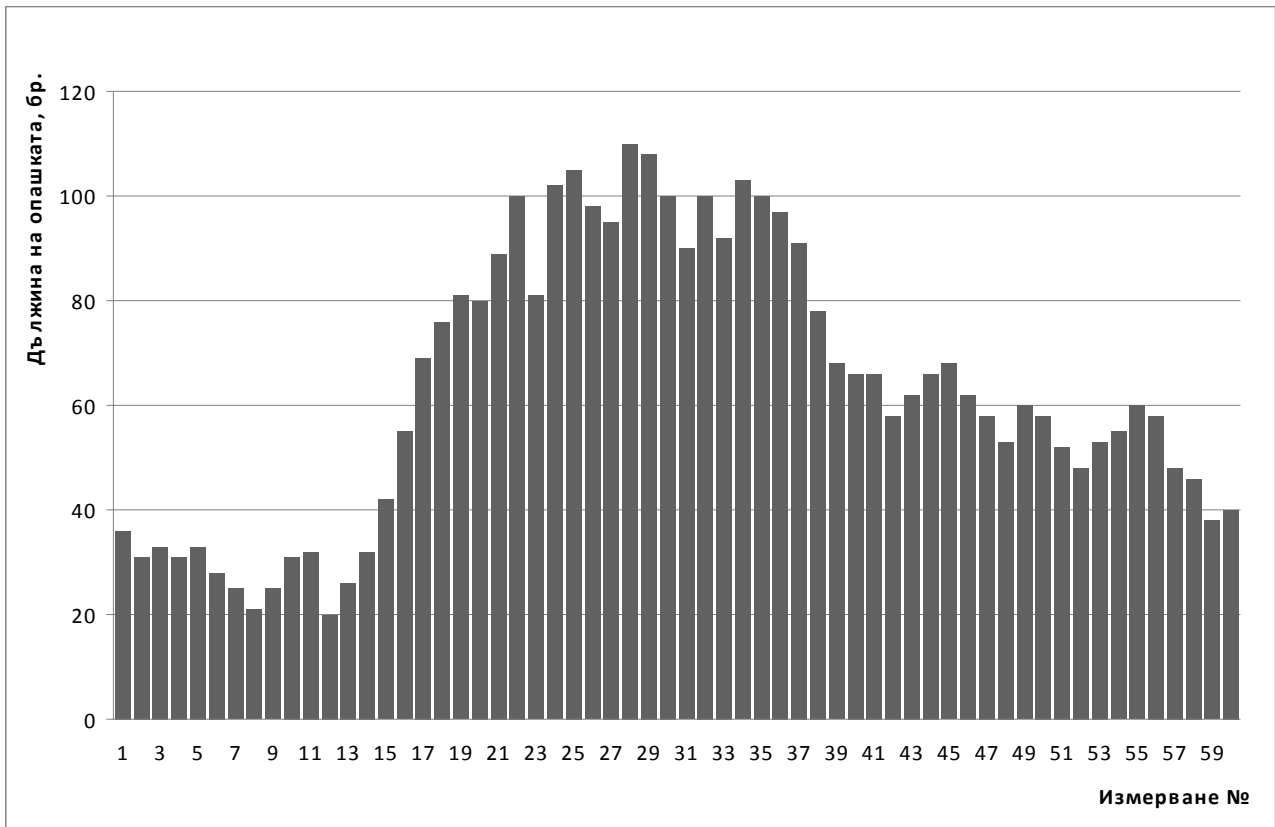
# **ПРИЛОЖЕНИЕ III**



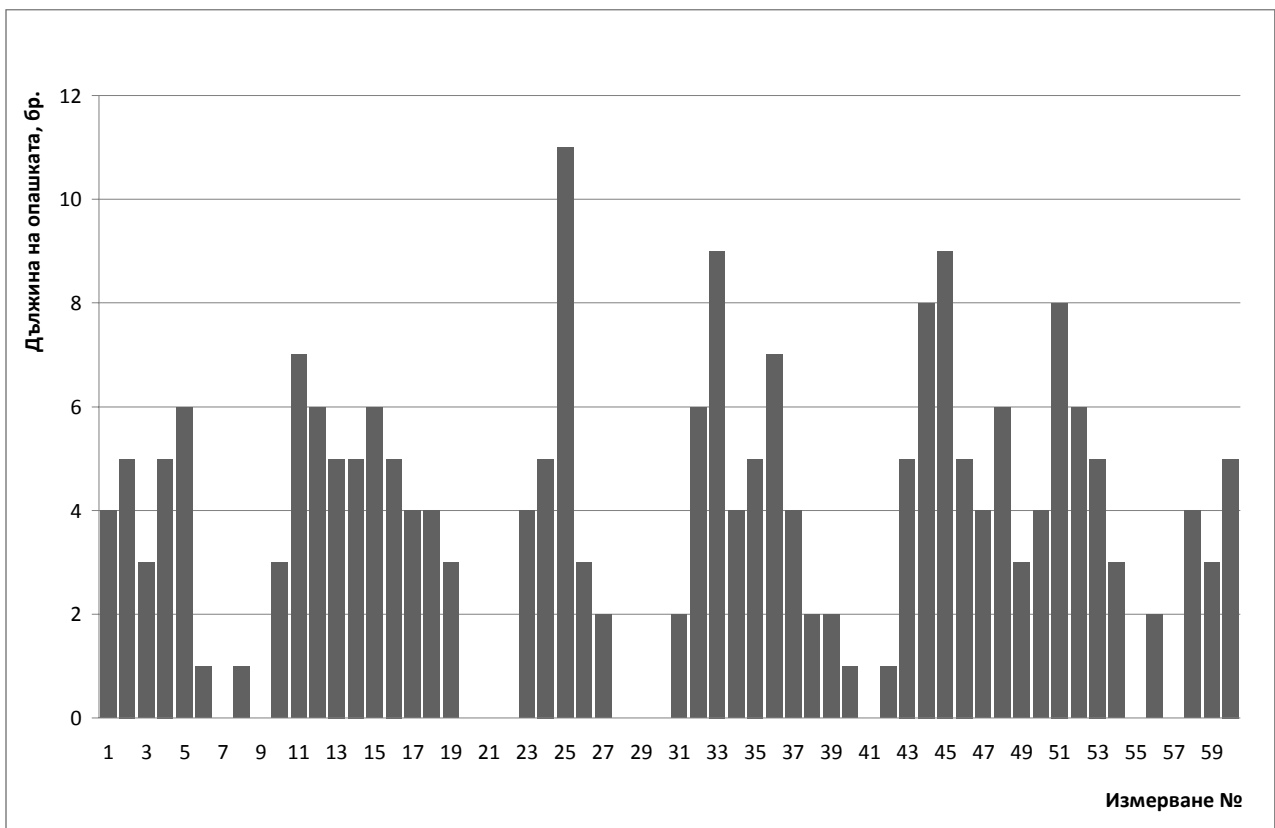
Таблица III.1 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за сутрешен пик

Измер- ване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	36	4	18	15	7	13	12	21	20	7
2	31	5	15	15	15	15	7	21	30	9
3	33	3	20	30	10	15	7	21	30	9
4	31	5	13	30	10	18	11	21	25	13
5	33	6	19	18	9	9	15	21	25	15
6	28	1	9	18	11	9	8	21	20	17
7	25	0	10	26	5	9	11	21	25	15
8	21	1	10	23	9	13	10	21	25	20
9	25	0	13	15	11	9	9	17	20	20
10	31	3	15	10	10	13	16	21	20	15
11	32	7	9	18	12	13	12	21	20	20
12	20	6	9	26	6	13	7	21	20	21
13	26	5	10	10	6	18	10	21	15	14
14	32	5	9	18	12	9	9	13	20	14
15	42	6	20	10	6	15	4	11	25	17
16	55	5	22	26	4	18	19	21	20	11
17	69	4	20	15	6	13	11	21	15	8
18	76	4	10	26	6	9	8	21	15	9
19	81	3	19	18	5	13	10	21	20	19
20	80	0	15	18	7	9	9	11	15	16
21	89	0	15	23	4	5	9	22	20	13
22	100	0	19	18	6	13	12	21	15	11
23	81	4	20	30	11	13	7	21	20	12
24	102	5	13	26	5	9	12	21	15	24
25	105	11	22	23	7	9	15	21	15	24
26	98	3	15	18	6	13	17	21	20	20
27	95	2	20	23	7	9	16	21	20	20
28	110	0	20	33	4	5	17	21	10	20
29	108	0	10	23	10	13	18	12	15	10
30	100	0	15	26	6	13	15	16	10	6
31	90	2	13	15	9	15	14	21	20	20
32	100	6	15	30	8	15	11	21	15	20
33	92	9	15	23	13	13	9	7	15	15

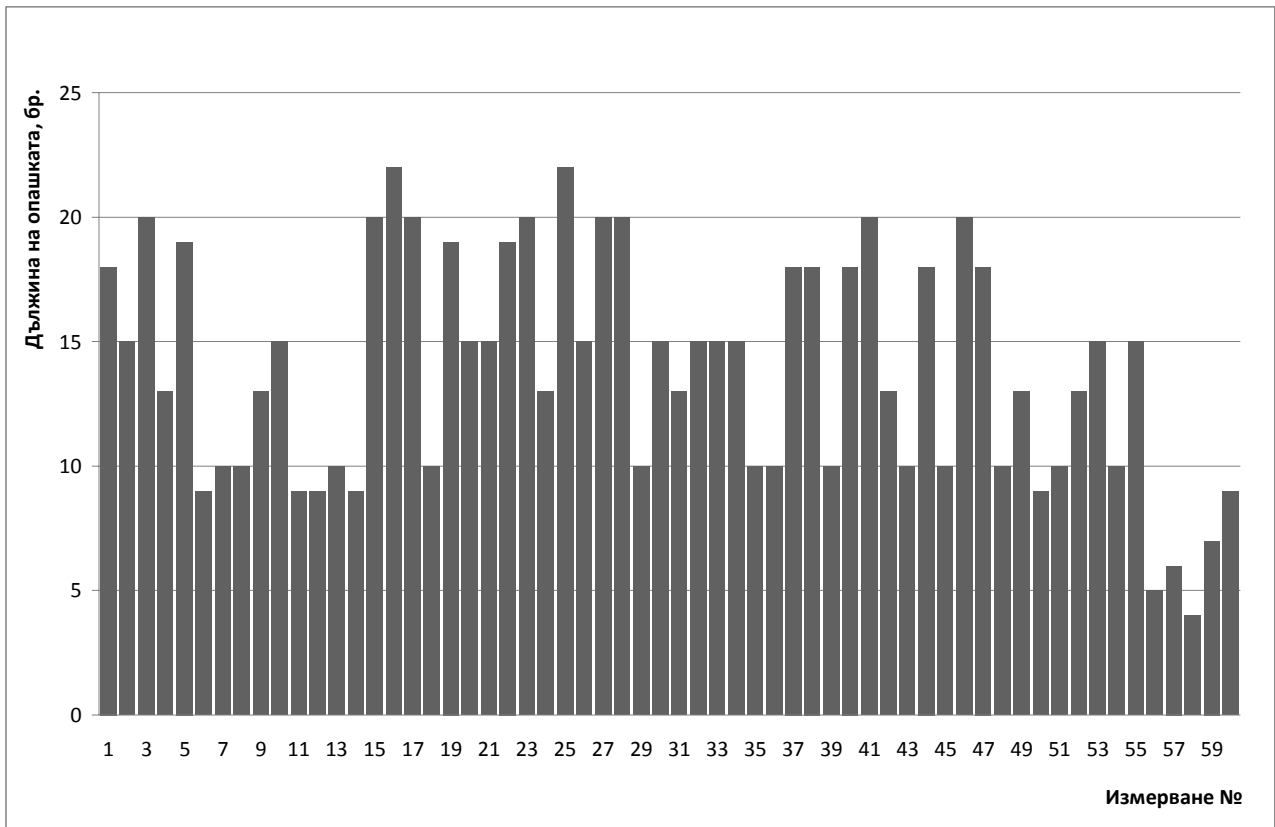
Таблица ПШ.1 – продължение										
34	103	4	15	18	4	9	12	9	10	20
35	100	5	10	23	8	13	10	12	15	20
36	97	7	10	18	7	13	9	5	10	18
37	91	4	18	15	12	9	7	21	10	8
38	78	2	18	30	6	9	6	17	20	15
39	68	2	10	33	9	5	9	14	15	13
40	66	1	18	30	11	13	13	12	20	8
41	66	0	20	23	13	9	17	21	15	9
42	58	1	13	18	12	13	11	14	20	20
43	62	5	10	15	6	15	15	14	10	10
44	66	8	18	18	7	13	18	11	10	11
45	68	9	10	23	11	9	9	14	10	16
46	62	5	20	26	10	15	12	21	15	9
47	58	4	18	23	5	13	14	15	10	5
48	53	6	10	18	9	5	11	14	10	19
49	60	3	13	23	13	9	18	17	10	15
50	58	4	9	15	11	13	21	16	10	11
51	52	8	10	18	9	9	23	12	15	16
52	48	6	13	18	8	9	18	21	10	12
53	53	5	15	23	8	13	19	17	20	12
54	55	3	10	15	7	9	14	14	15	11
55	60	0	15	26	9	15	15	21	10	14
56	58	2	5	30	4	15	12	17	20	15
57	48	0	6	26	11	13	9	14	15	16
58	46	4	4	23	10	9	10	12	16	11
59	38	3	7	23	12	15	11	21	20	16
60	40	5	9	18	8	9	14	17	20	12
<b>Средна дължина на опашката</b>	<b>63,15</b>	<b>3,68</b>	<b>13,85</b>	<b>21,42</b>	<b>8,38</b>	<b>11,65</b>	<b>12,23</b>	<b>17,5</b>	<b>16,94</b>	<b>14,43</b>



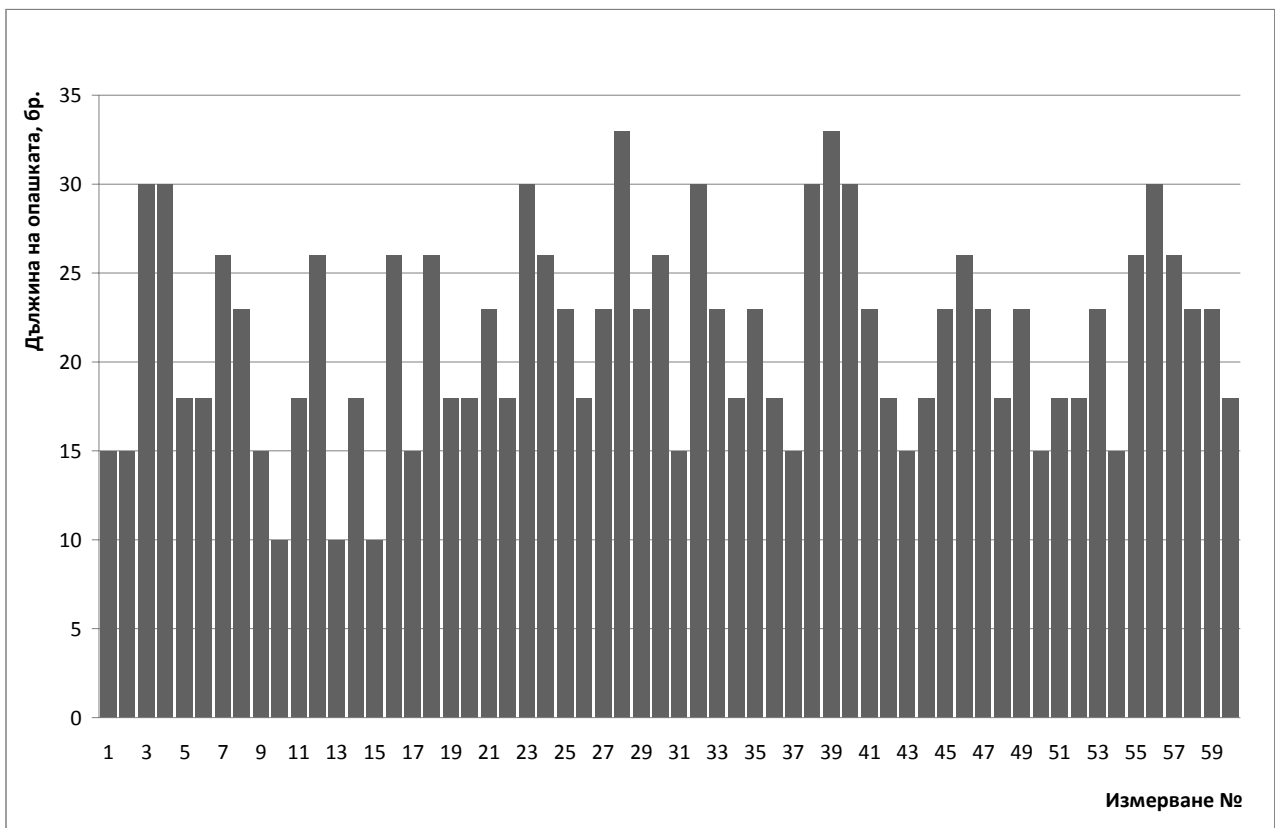
Фиг. III.1 Дължини на опашката за поток 1 за сутрешен пик



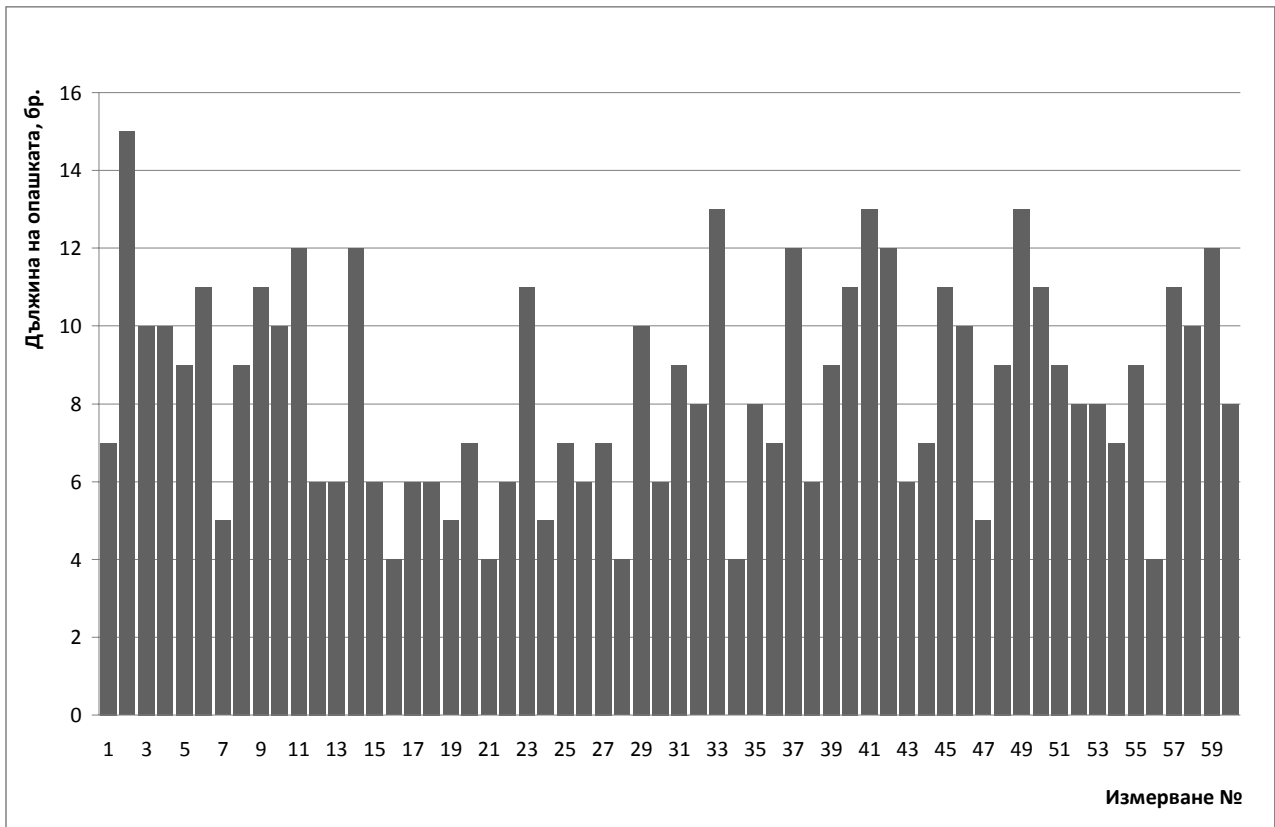
Фиг. III.2 Дължини на опашката за поток 2 за сутрешен пик



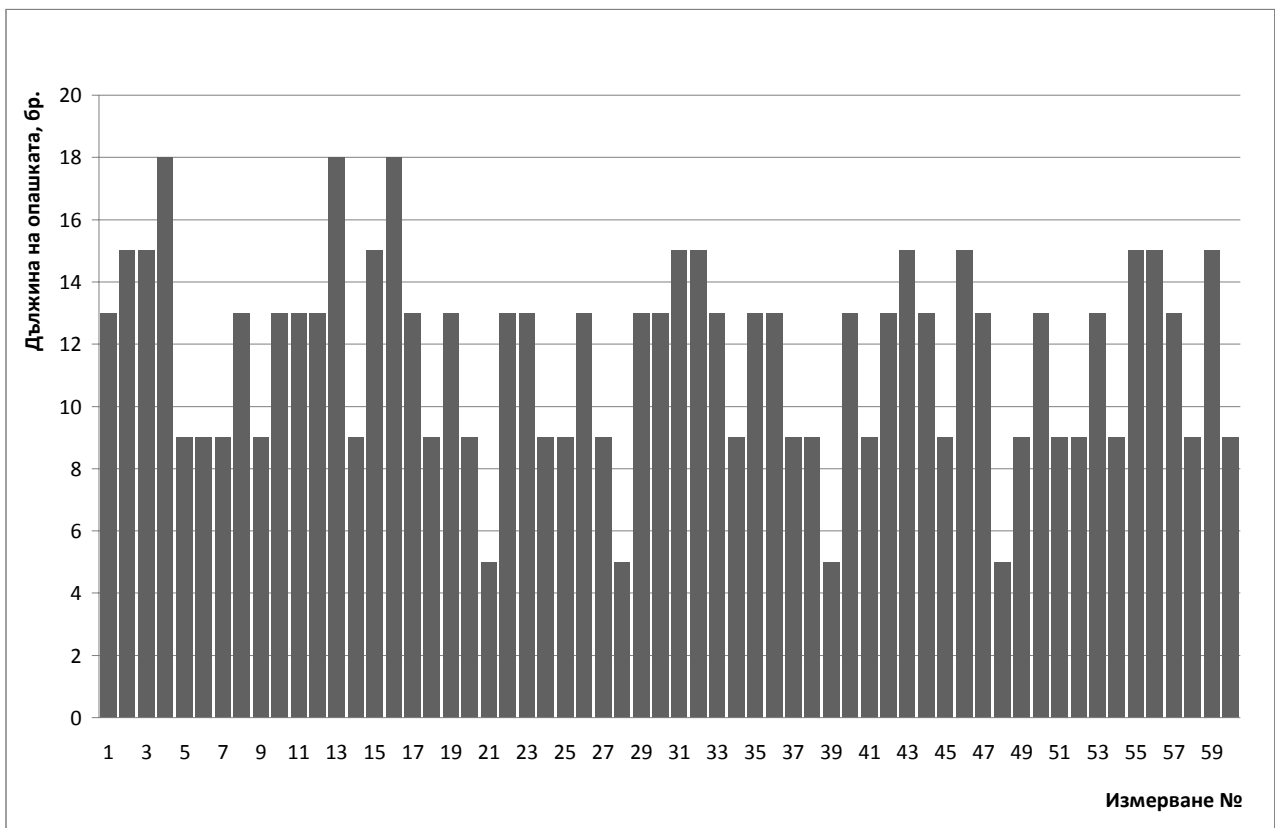
Фиг. ПШ.3 Дължини на опашката за поток 3 за сутрешен пик



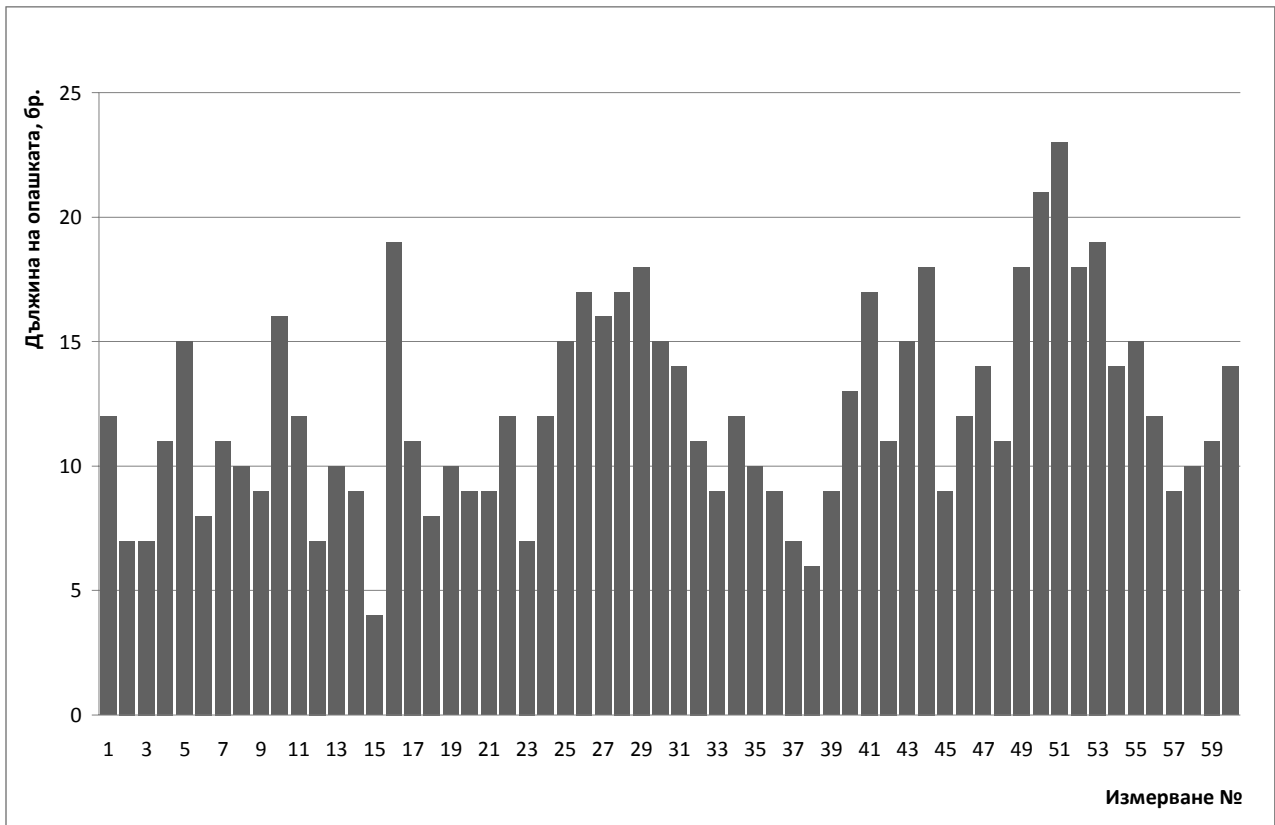
Фиг. ПШ.4 Дължини на опашката за поток 4 за сутрешен пик



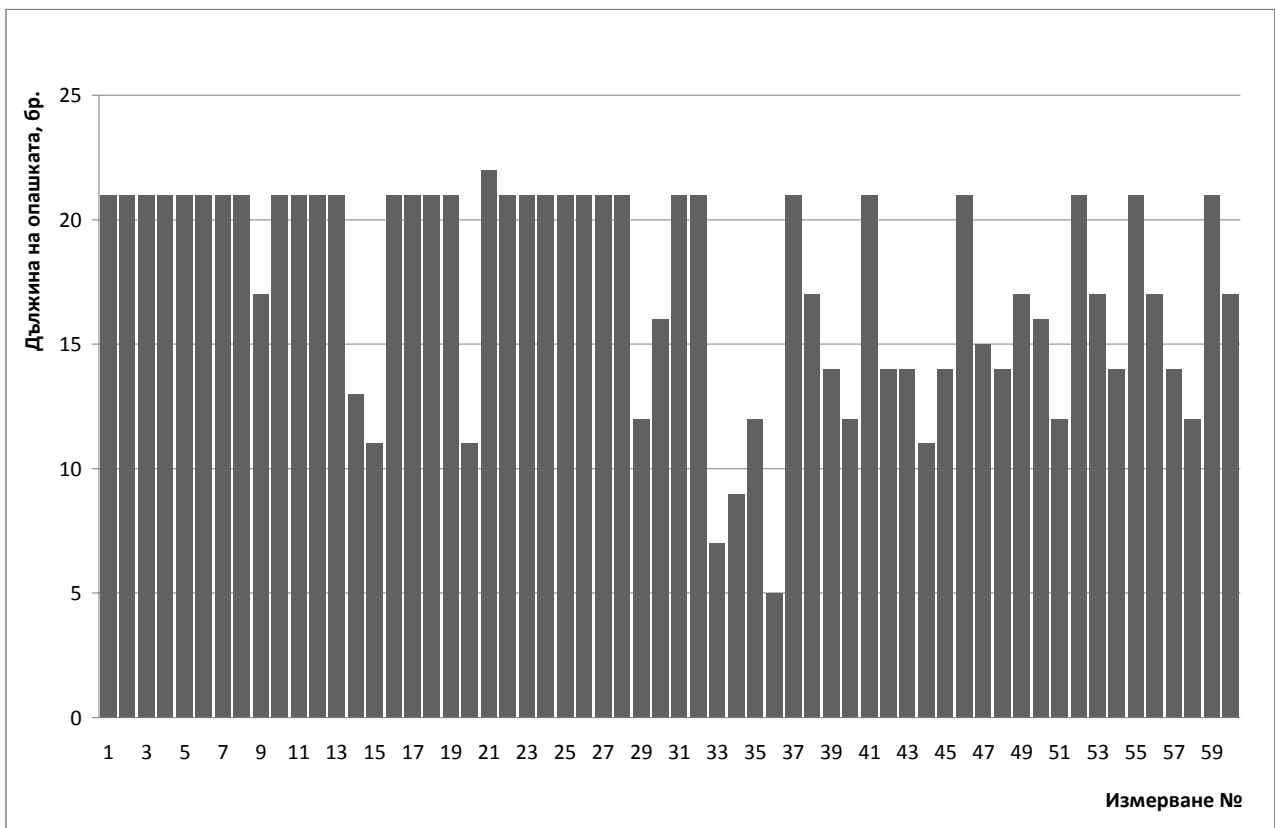
Фиг. ПШ.5 Дължини на опашката за поток 5 за сутрешен пик



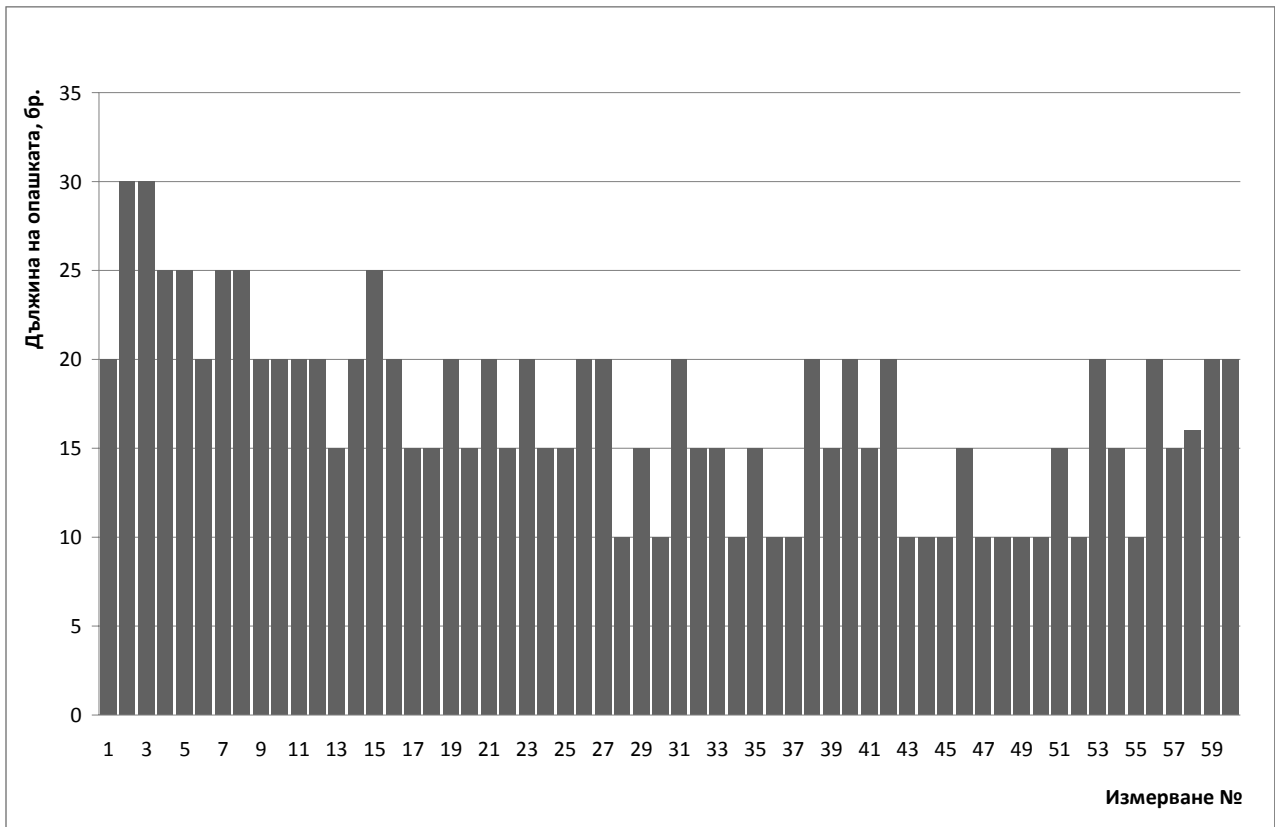
Фиг. ПШ.6 Дължини на опашката за поток 6 за сутрешен пик



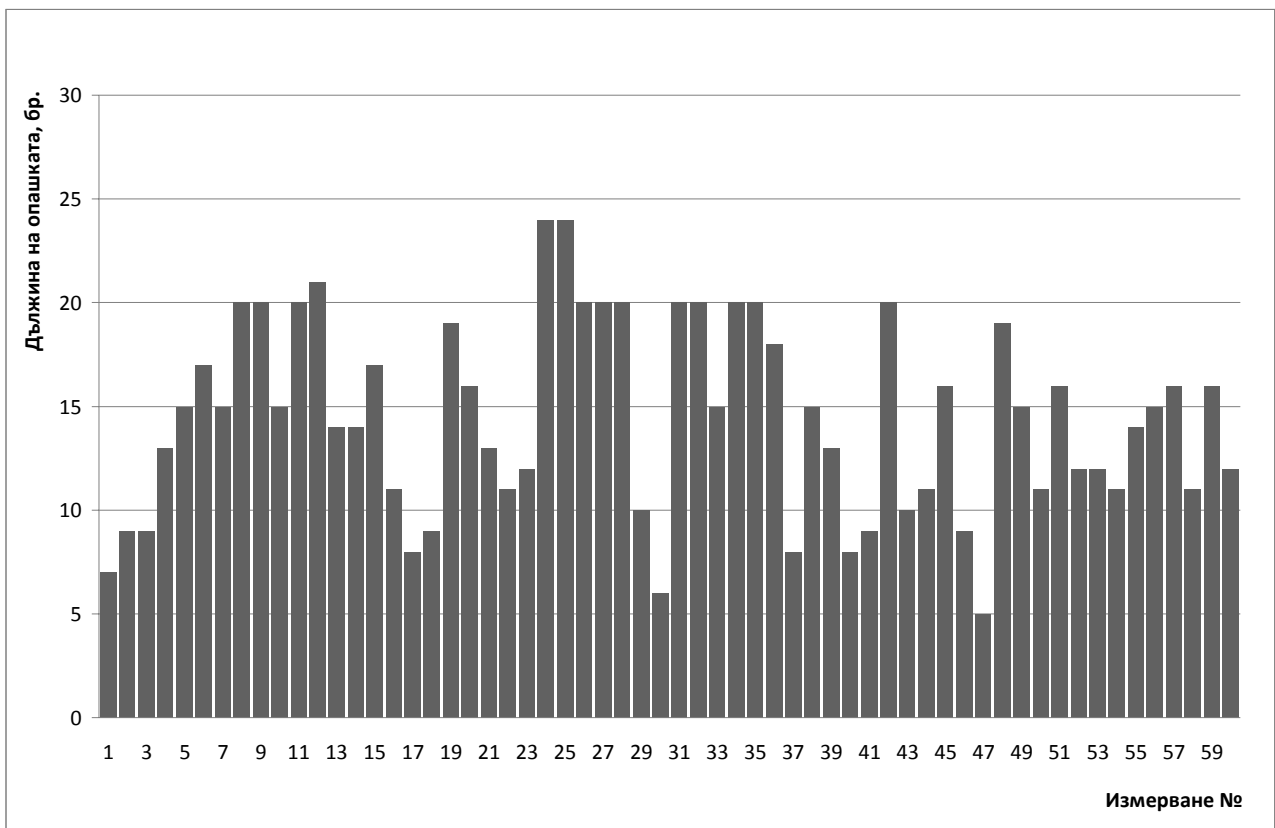
Фиг. ПШ.7 Дължини на опашката за поток 7 за сутрешен пик



Фиг. ПШ.8 Дължини на опашката за поток 8 за сутрешен пик



Фиг. ПШ.9 Дължини на опашката за поток 9 за сутрешен пик



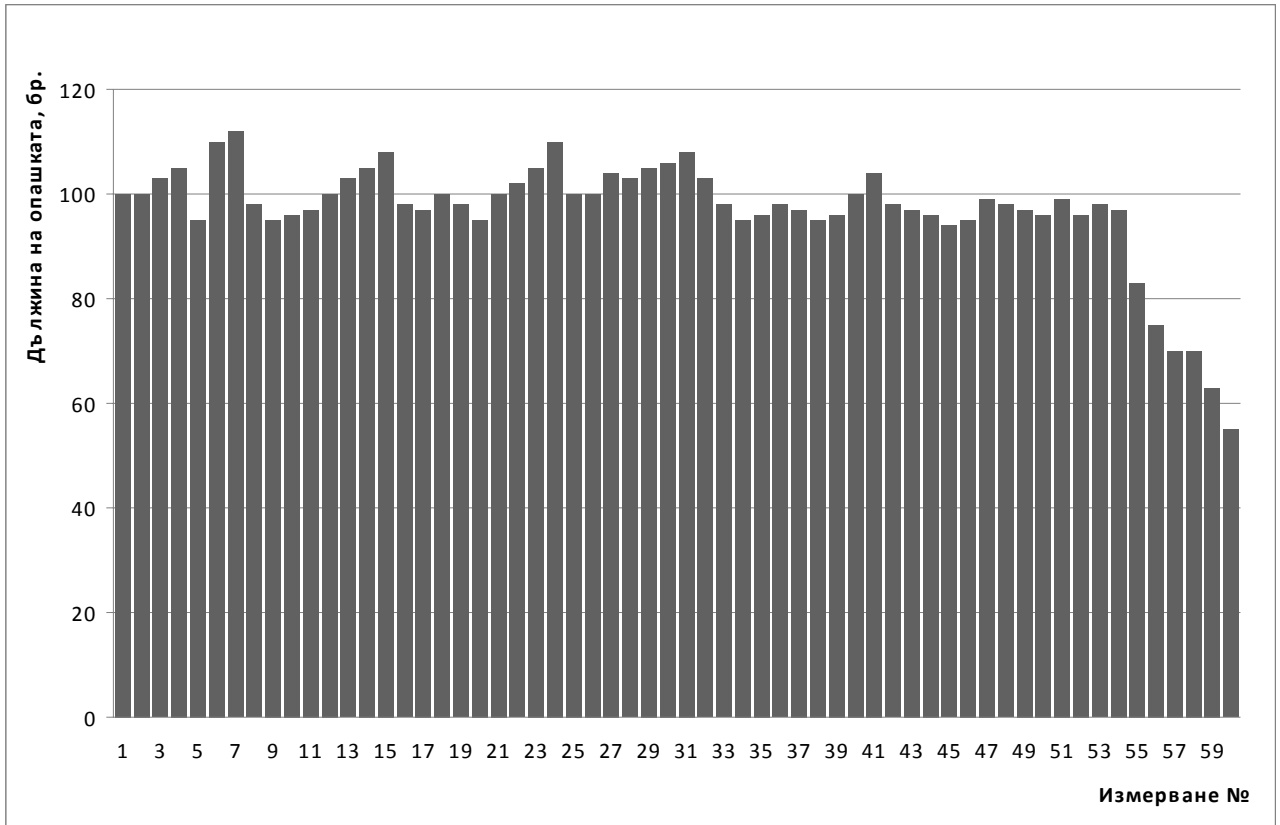
Фиг. ПШ.10 Дължини на опашката за поток 10 за сутрешен пик

Таблица III.2 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за вечерен пик

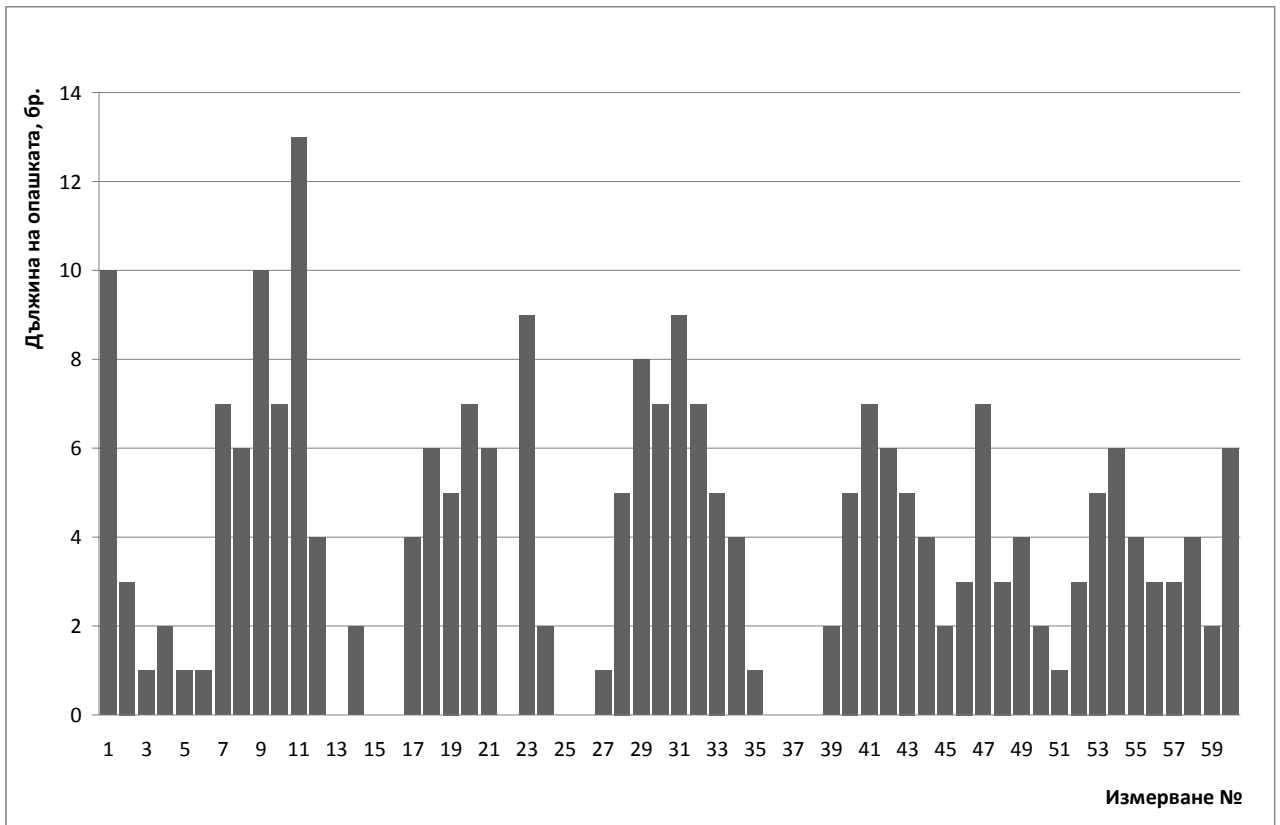
Измер- ване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	100	10	10	5	7	13	10	21	10	20
2	100	3	5	23	4	9	9	18	10	8
3	103	1	10	18	3	9	14	14	10	10
4	105	2	8	23	2	13	15	21	10	20
5	95	1	8	15	4	9	9	7	15	20
6	110	1	3	23	7	15	9	21	10	15
7	112	7	15	15	5	13	11	18	15	14
8	98	6	6	26	1	13	5	10	15	17
9	95	10	4	18	5	5	8	15	15	20
10	96	7	4	33	8	13	9	21	10	15
11	97	13	15	18	8	15	11	21	5	14
12	100	4	8	26	6	13	13	21	5	17
13	103	0	10	18	7	9	17	17	15	16
14	105	2	8	30	5	13	11	15	20	20
15	108	0	13	18	3	9	8	21	10	24
16	98	0	4	26	5	5	12	21	5	14
17	97	4	13	15	1	9	11	14	15	13
18	100	6	6	18	3	9	10	17	20	18
19	98	5	13	26	10	9	13	12	10	24
20	95	7	13	18	8	13	14	16	15	28
21	100	6	13	10	3	15	7	21	15	20
22	102	0	4	23	5	9	9	21	10	16
23	105	9	4	15	0	15	10	21	15	14
24	110	2	6	15	9	13	11	21	20	12
25	100	0	4	18	4	13	15	21	20	15
26	100	0	6	23	4	5	13	21	10	14
27	104	1	8	23	6	5	14	21	5	18
28	103	5	7	26	5	9	10	21	20	20
29	105	8	9	33	1	5	11	21	15	17
30	106	7	5	30	5	9	16	16	15	20
31	108	9	9	23	7	15	17	21	10	16
32	103	7	8	10	5	9	14	21	10	18
33	98	5	6	15	6	13	13	17	15	14



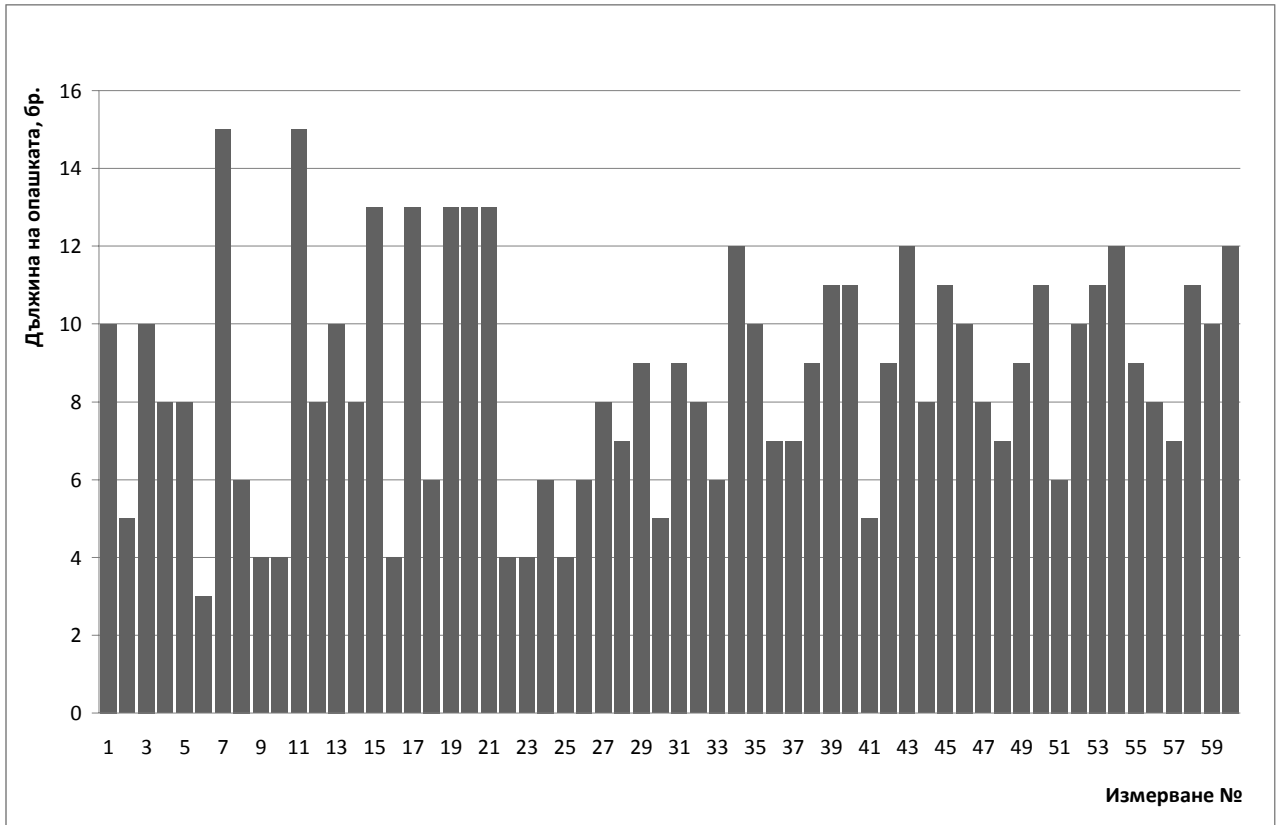
Таблица ПШ.2 – продължение										
34	95	4	12	30	6	9	10	12	15	20
35	96	1	10	33	7	9	9	14	20	10
36	98	0	7	26	3	9	7	17	25	12
37	97	0	7	23	8	13	11	15	10	17
38	95	0	9	18	7	15	8	21	10	20
39	96	2	11	15	8	15	9	21	20	16
40	100	5	11	23	9	13	11	17	15	11
41	104	7	5	23	11	5	8	21	20	15
42	98	6	9	26	7	9	7	15	25	13
43	97	5	12	33	5	9	9	13	10	17
44	96	4	8	30	6	13	12	17	5	19
45	94	2	11	18	11	15	11	16	20	24
46	95	3	10	18	7	13	8	11	10	20
47	99	7	8	23	5	9	8	13	10	28
48	98	3	7	23	5	9	10	19	10	17
49	97	4	9	26	4	9	9	21	5	15
50	96	2	11	18	6	5	14	21	5	20
51	99	1	6	18	7	13	15	17	10	17
52	96	3	10	18	9	15	9	14	3	18
53	98	5	11	30	5	15	9	16	5	24
54	97	6	12	26	3	13	11	11	6	19
55	83	4	9	33	8	13	5	15	10	13
56	75	3	8	18	4	15	8	19	5	15
57	70	3	7	23	5	9	9	18	20	15
58	70	4	11	15	7	9	11	17	15	18
59	63	2	10	10	6	5	13	15	12	19
60	55	6	12	18	5	5	7	21	13	24
<b>Средна дължи- на на опаш- ката</b>	<b>96,93</b>	<b>4</b>	<b>8,63</b>	<b>21,52</b>	<b>5,6</b>	<b>10,70</b>	<b>10,62</b>	<b>17,54</b>	<b>12,57</b>	<b>17,28</b>



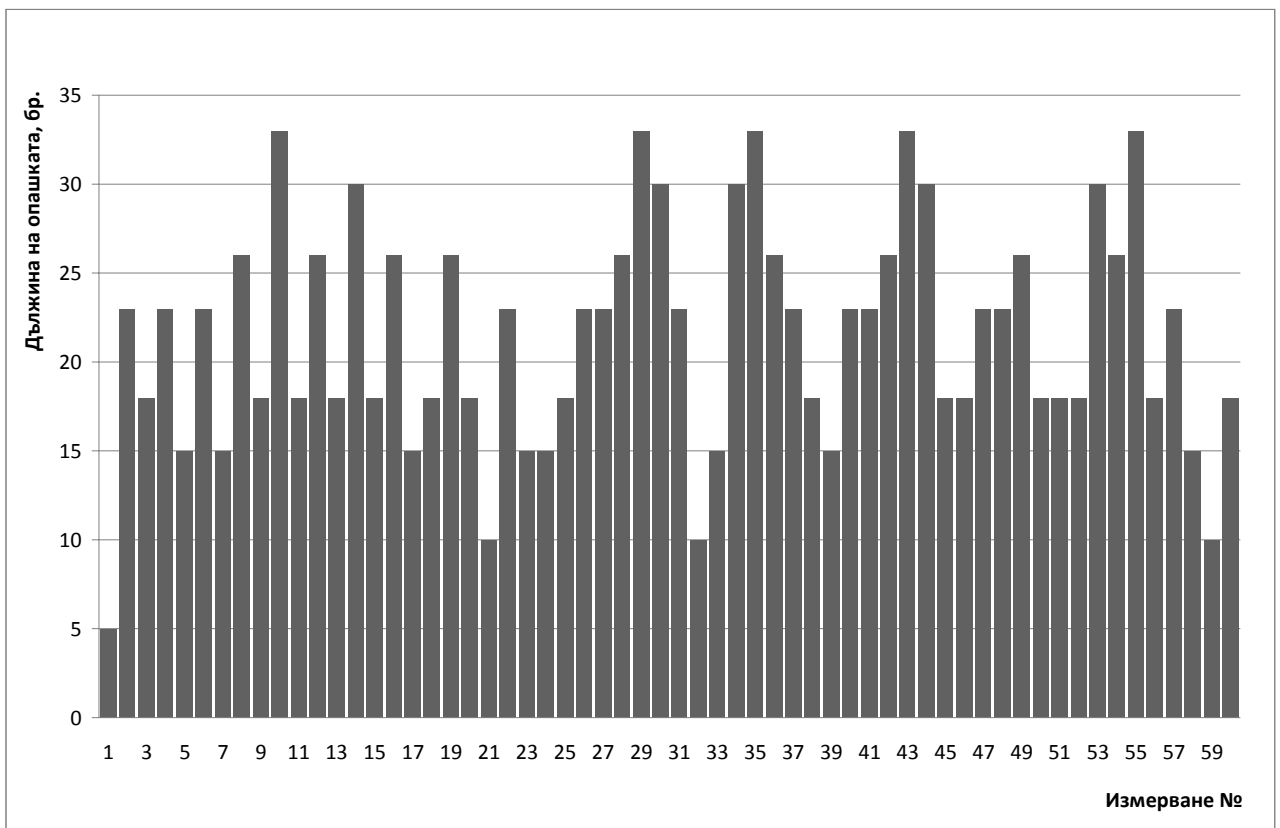
Фиг. ПШ.11 Дължини на опашката за поток 1 за вечерен пик



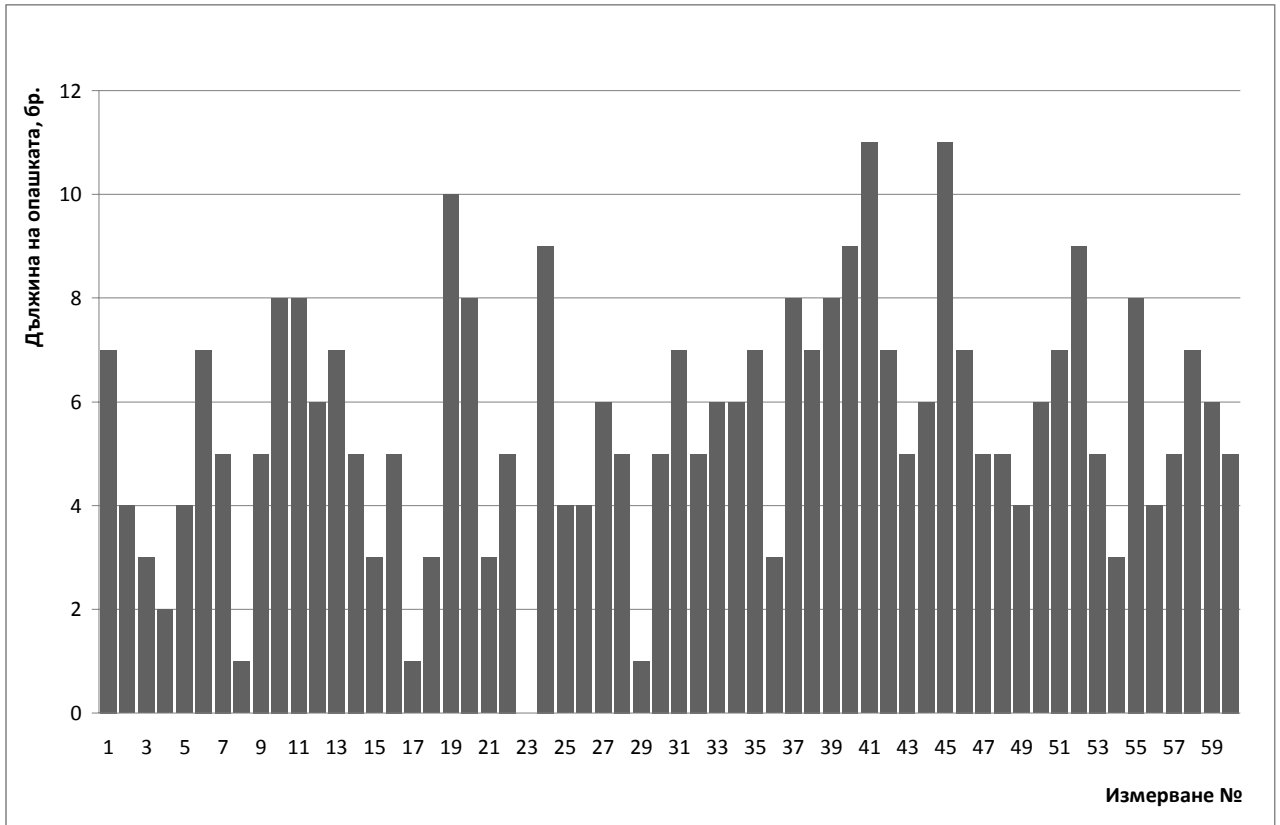
Фиг. ПШ.12 Дължини на опашката за поток 2 за вечерен пик



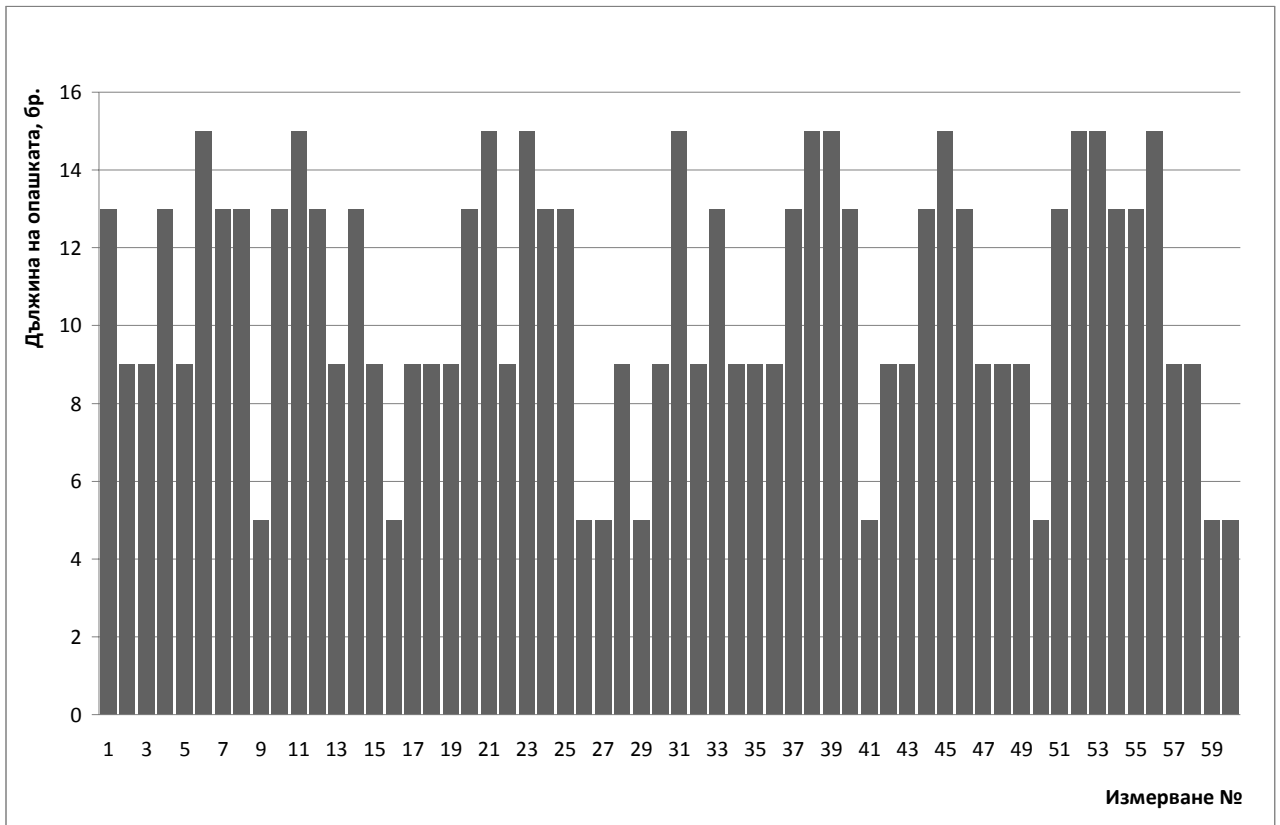
Фиг. ПШ.13 Дължини на опашката за поток 3 за вечерен пик



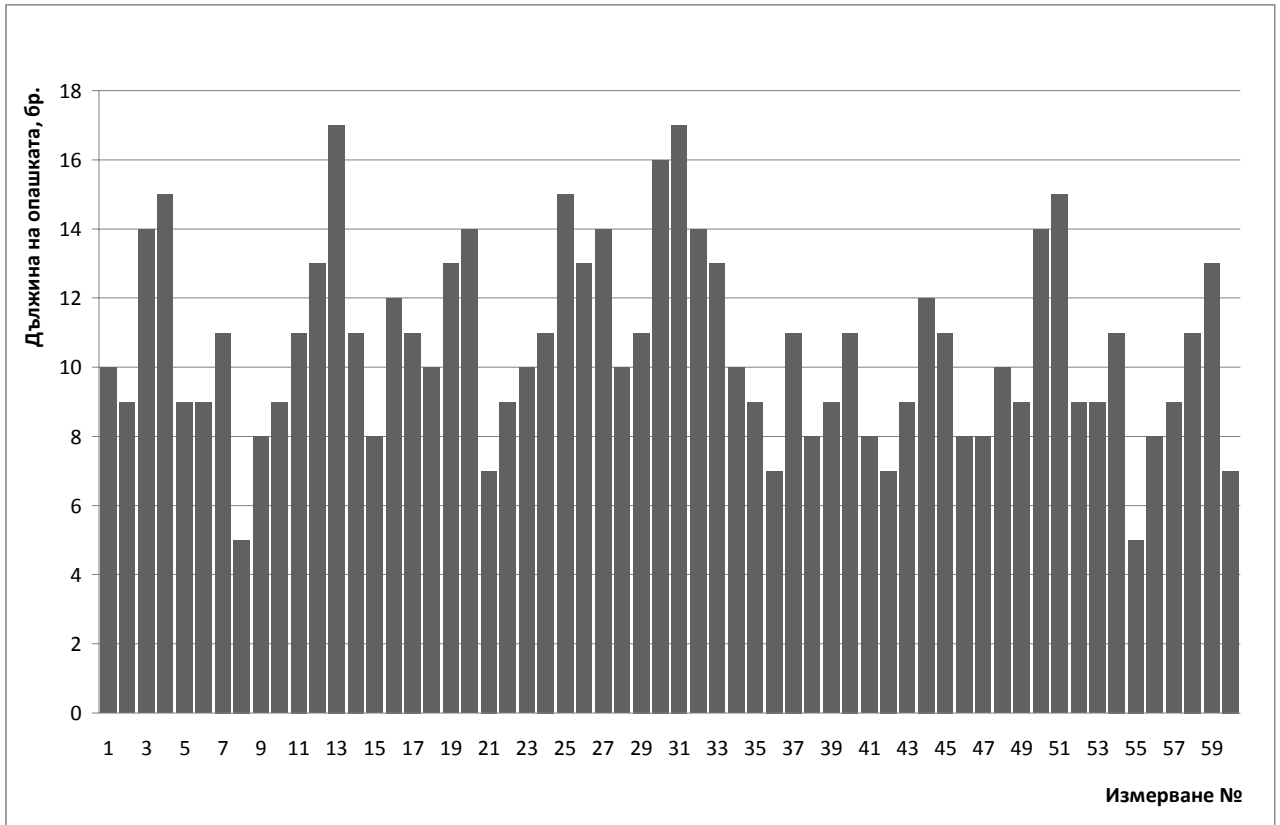
Фиг. ПШ.14 Дължини на опашката за поток 4 за вечерен пик



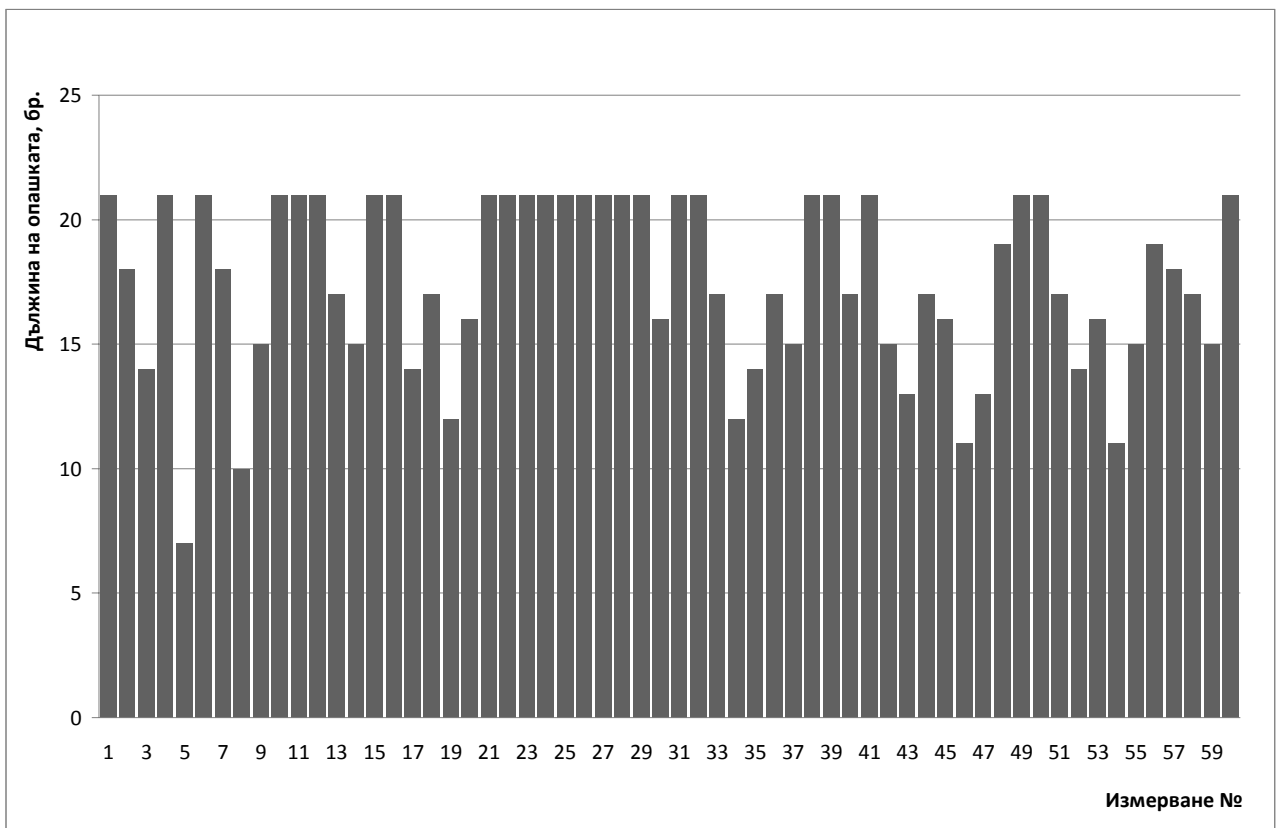
Фиг. ПП.15 Дължини на опашката за поток 5 за вечерен пик



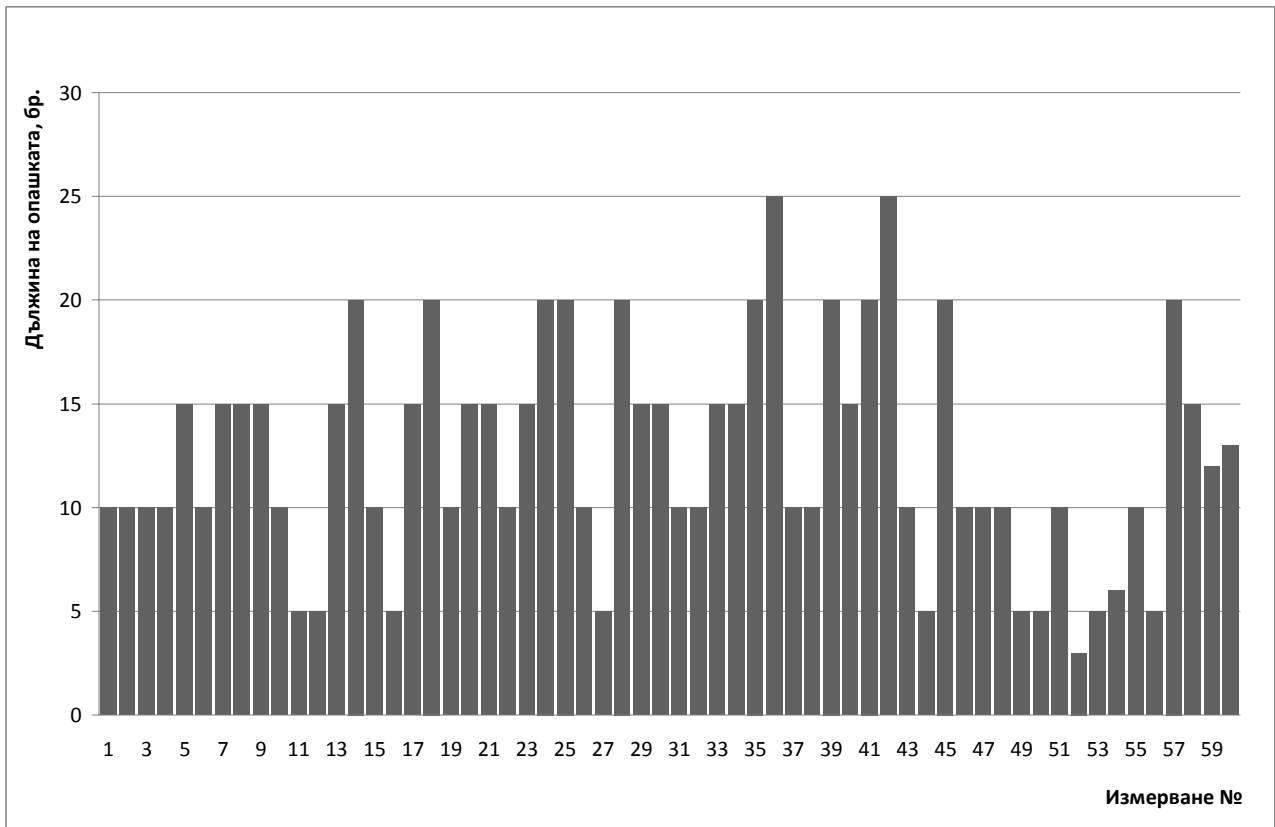
Фиг. ПП.16 Дължини на опашката за поток 6 за вечерен пик



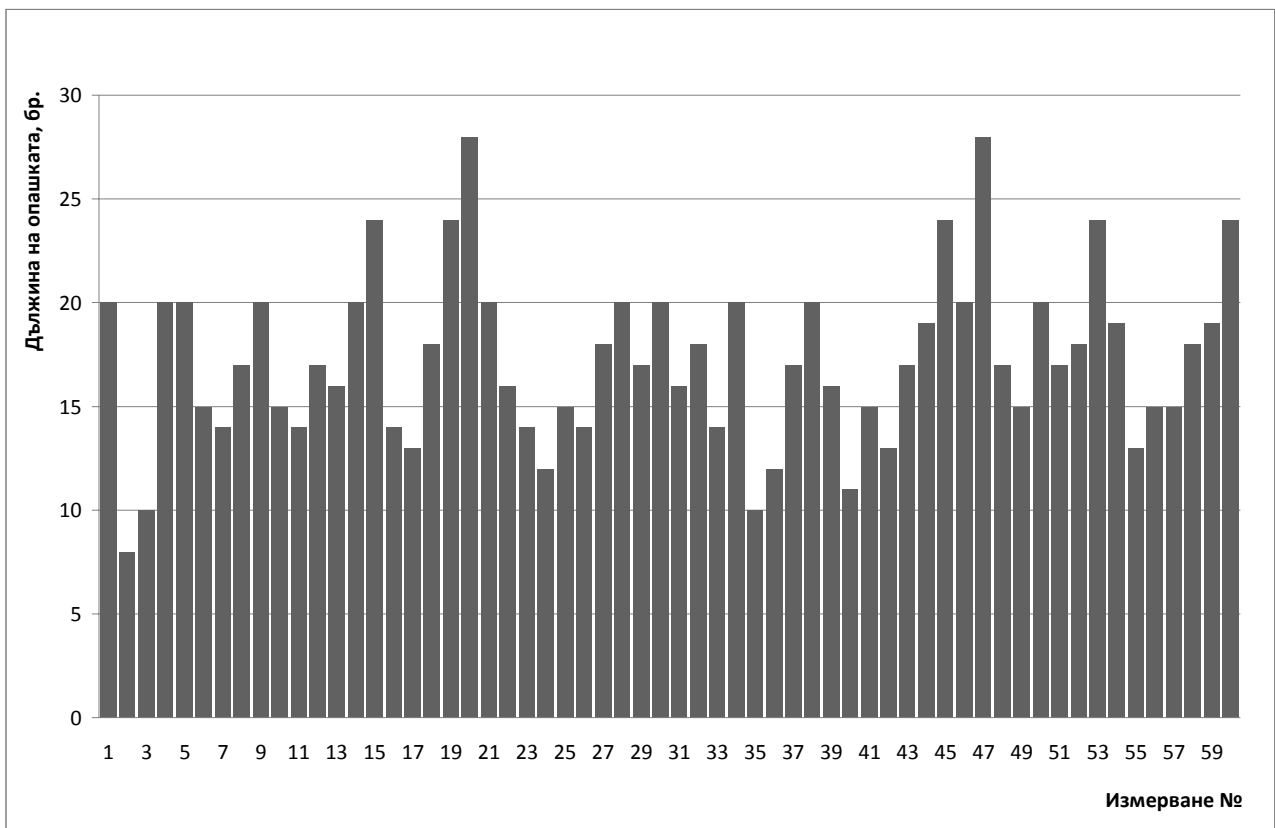
Фиг. ПШ.17 Дължини на опашката за поток 7 за вечерен пик



Фиг. ПШ.18 Дължини на опашката за поток 8 за вечерен пик



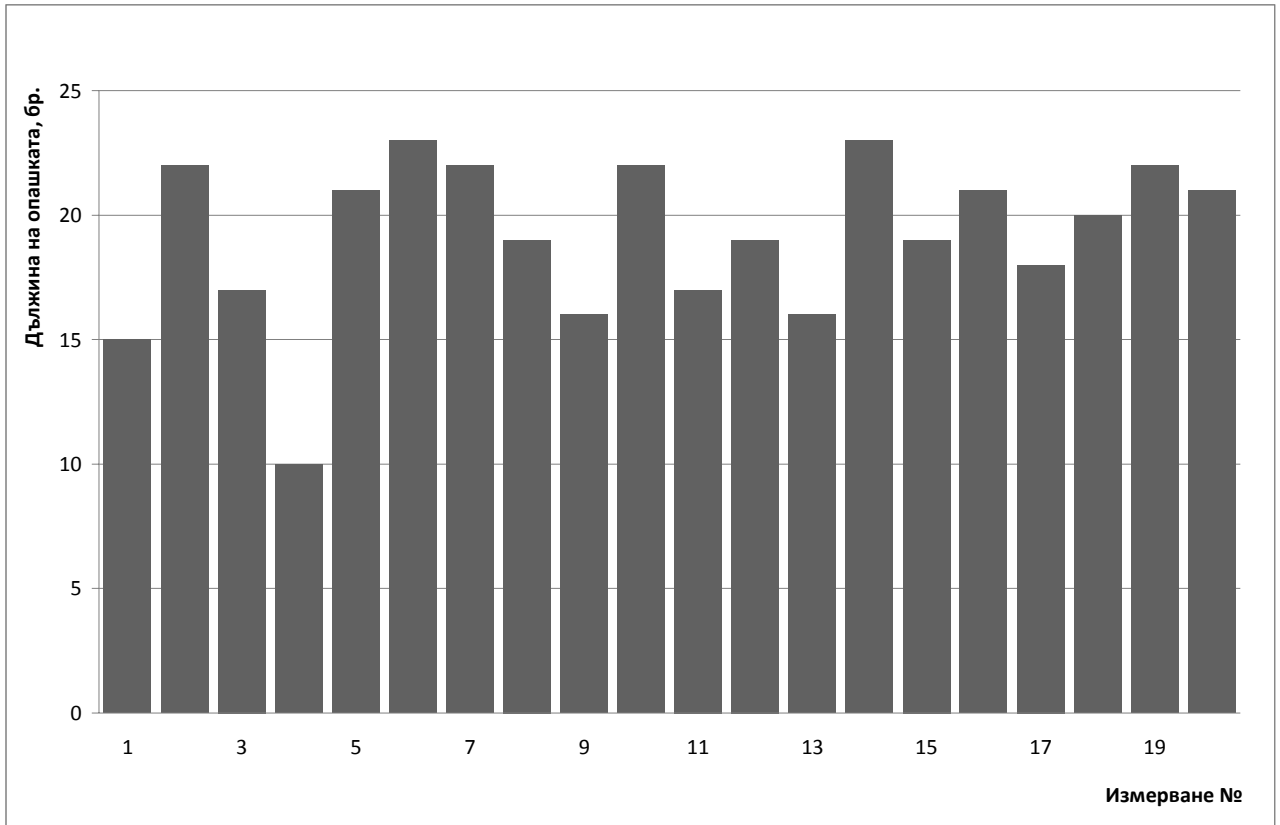
Фиг. ПШ.19 Дължини на опашката за поток 9 за вечерен пик



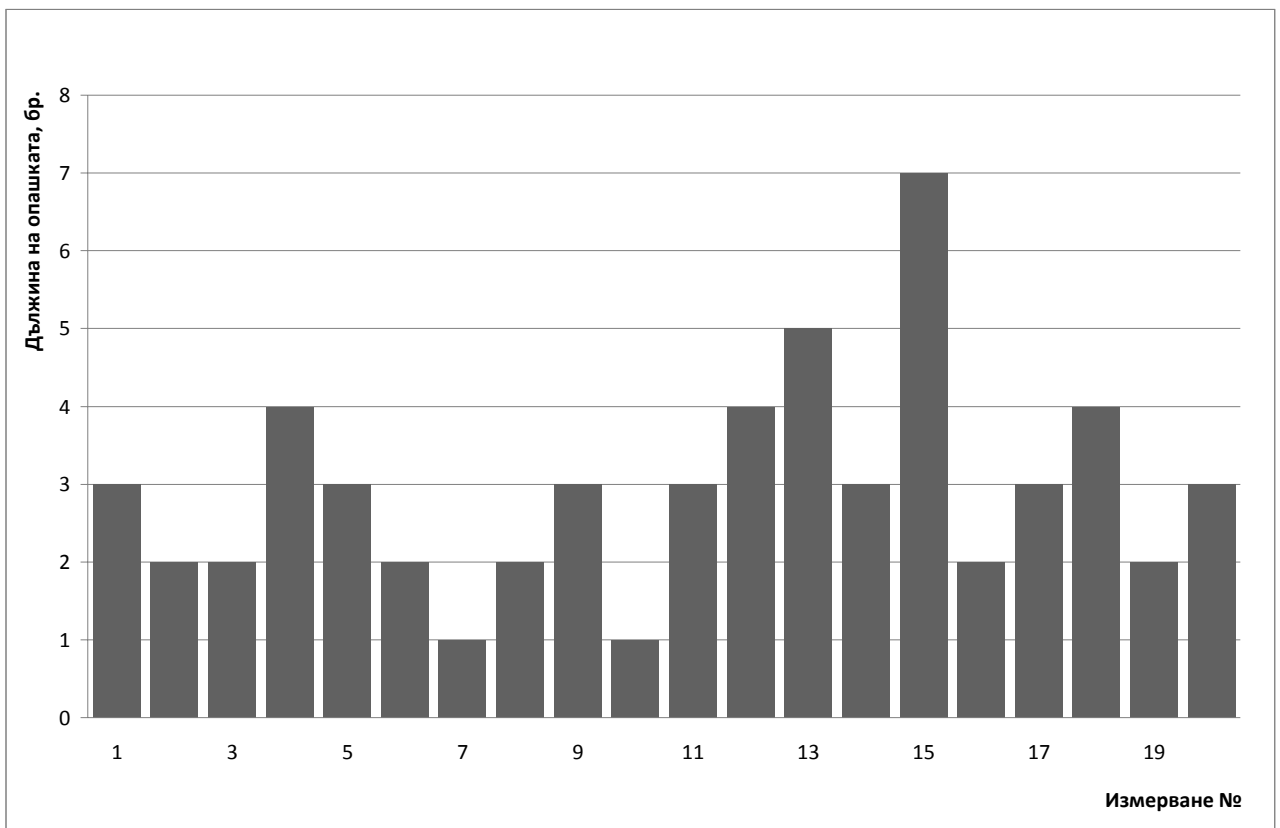
Фиг. ПШ.20 Дължини на опашката за поток 10 за вечерен пик

Таблица ПШ.3 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за непииков период

Измер- ване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	15	3	6	14	6	9	2	13	9	9
2	22	2	2	17	6	11	3	14	14	6
3	17	2	2	16	3	7	4	11	16	7
4	10	4	3	15	3	9	2	10	9	11
5	21	3	3	18	6	9	3	11	9	9
6	23	2	7	10	4	10	3	11	11	13
7	22	1	8	18	5	8	2	7	11	8
8	19	2	10	15	2	12	4	9	13	11
9	16	3	7	10	3	9	3	12	9	10
10	22	1	6	15	4	10	2	11	12	8
11	17	3	3	16	4	11	4	13	10	11
12	19	4	8	11	5	9	3	14	11	10
13	16	5	4	10	3	13	2	11	13	12
14	23	3	3	14	7	9	5	10	9	9
15	19	7	5	17	2	10	3	9	12	7
16	21	2	6	13	4	11	4	11	11	8
17	18	3	9	10	5	12	3	13	14	9
18	20	4	3	11	6	10	2	12	15	11
19	22	2	4	12	4	14	2	14	11	12
20	21	3	5	14	7	12	3	11	10	10
<b>Средна дължи- на на опаш- ката</b>	<b>19,15</b>	<b>2,95</b>	<b>5,2</b>	<b>13,8</b>	<b>4,45</b>	<b>10,25</b>	<b>2,95</b>	<b>11,35</b>	<b>11,45</b>	<b>9,55</b>

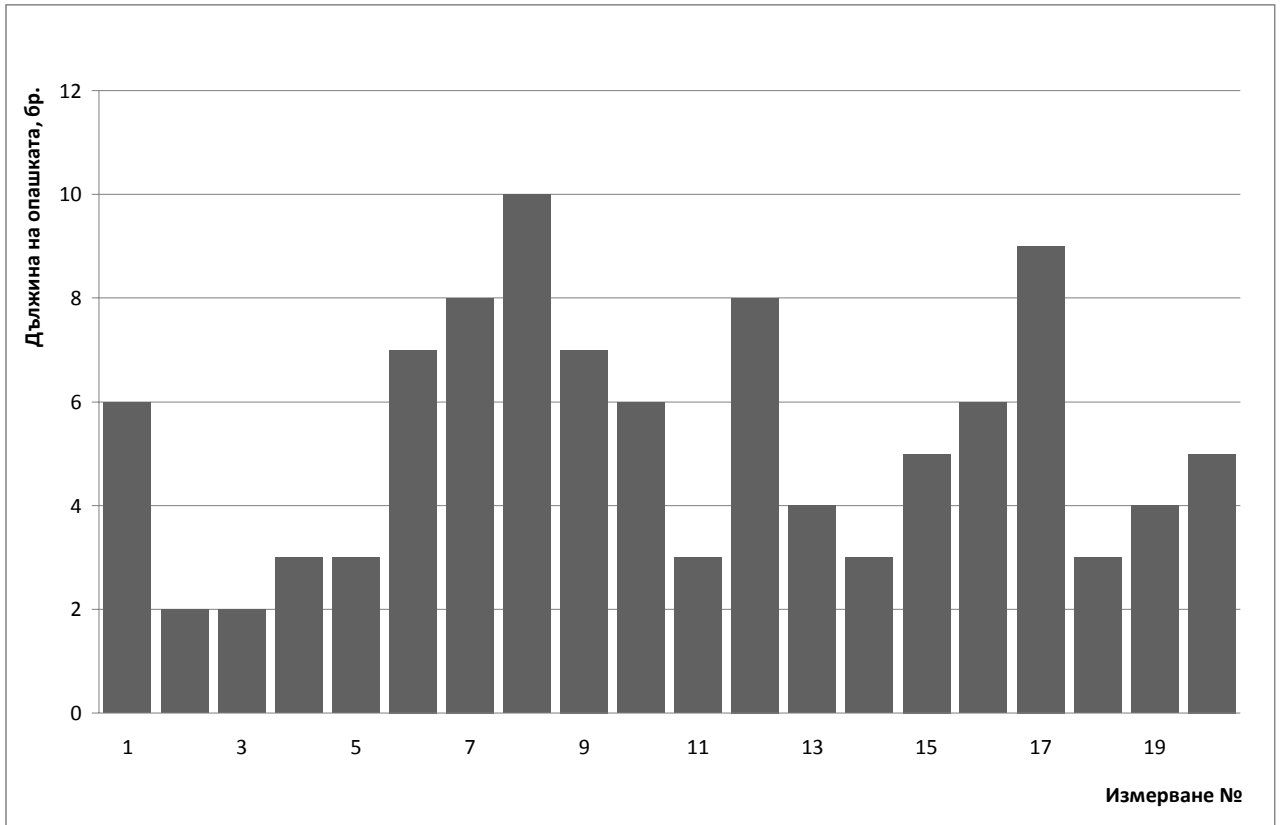


Фиг. ПП.21 Дължини на опащката за поток 1 за непиков период

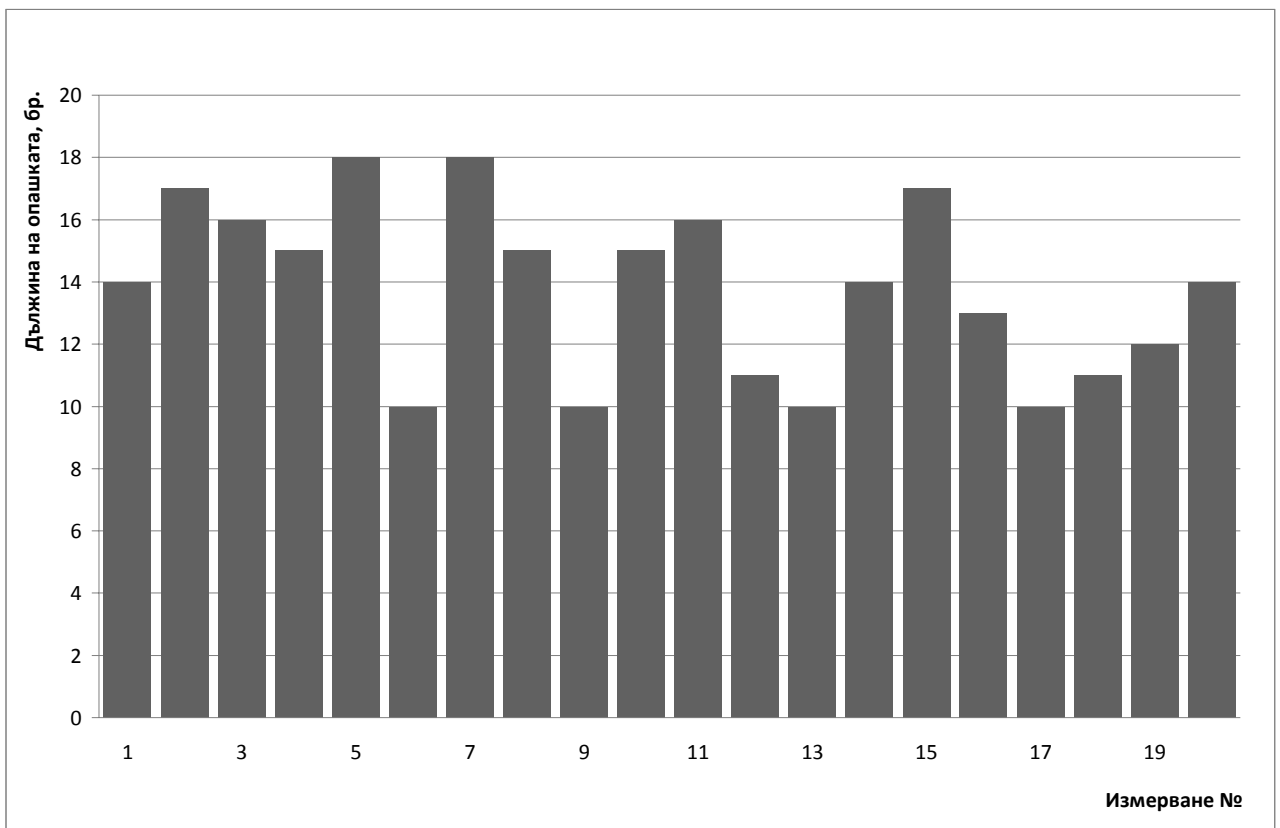


Фиг. ПП.22 Дължини на опащката за поток 2 за непиков период

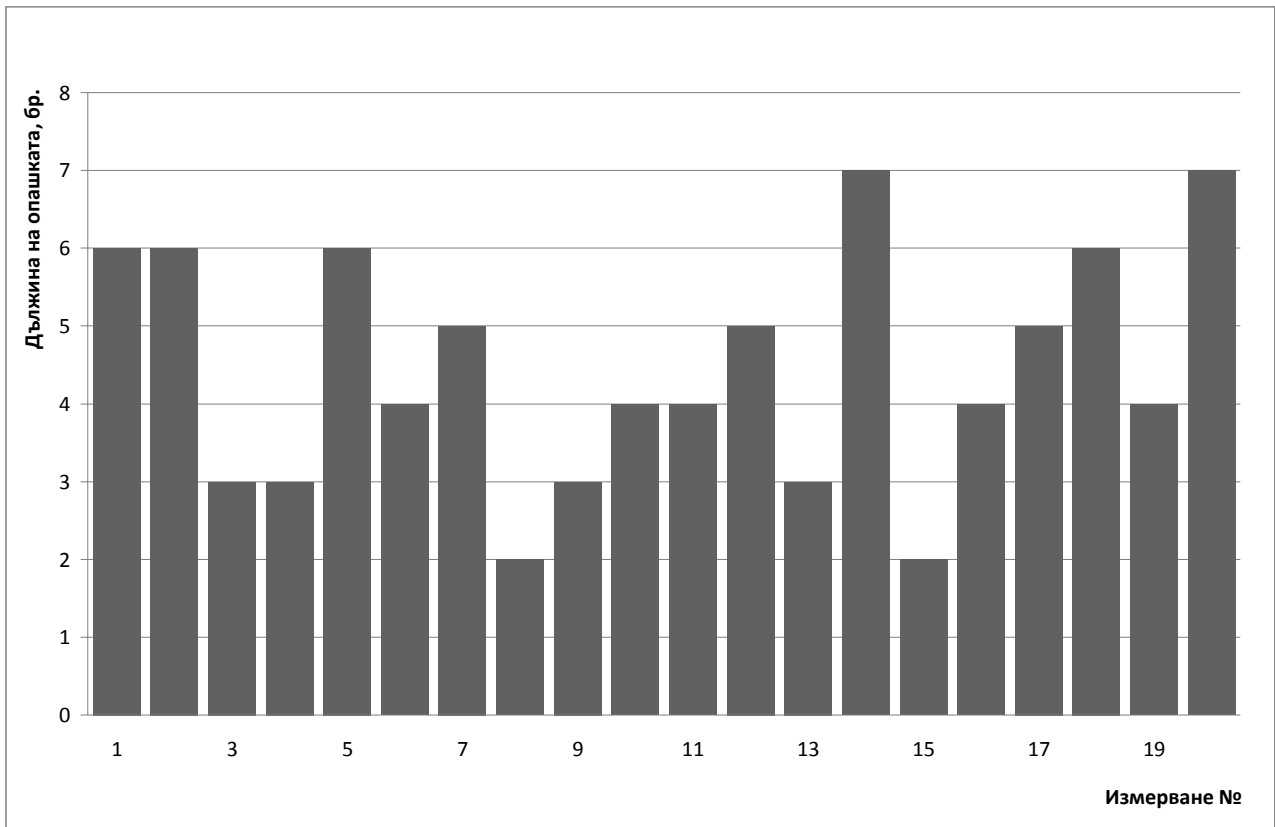




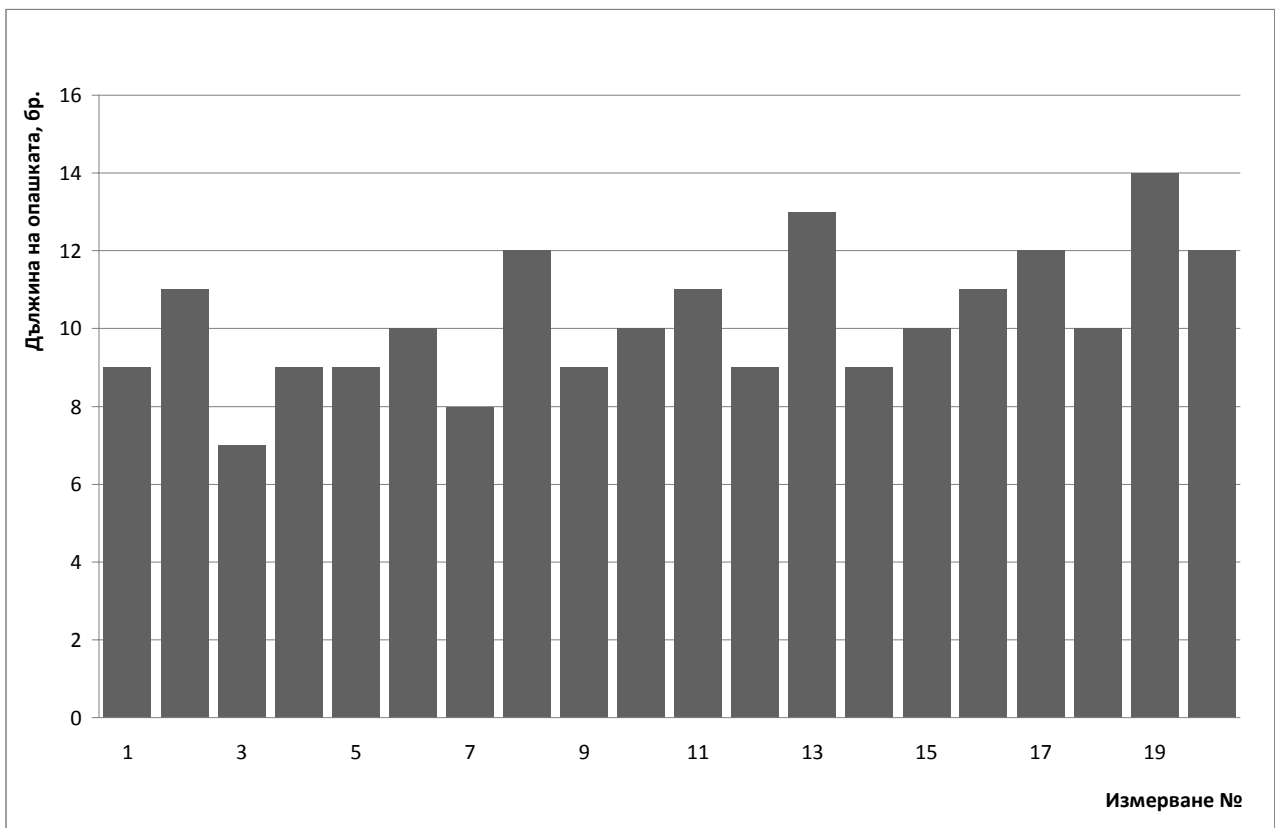
Фиг. ПШ.23 Дължини на опашката за поток 3 за непигов период



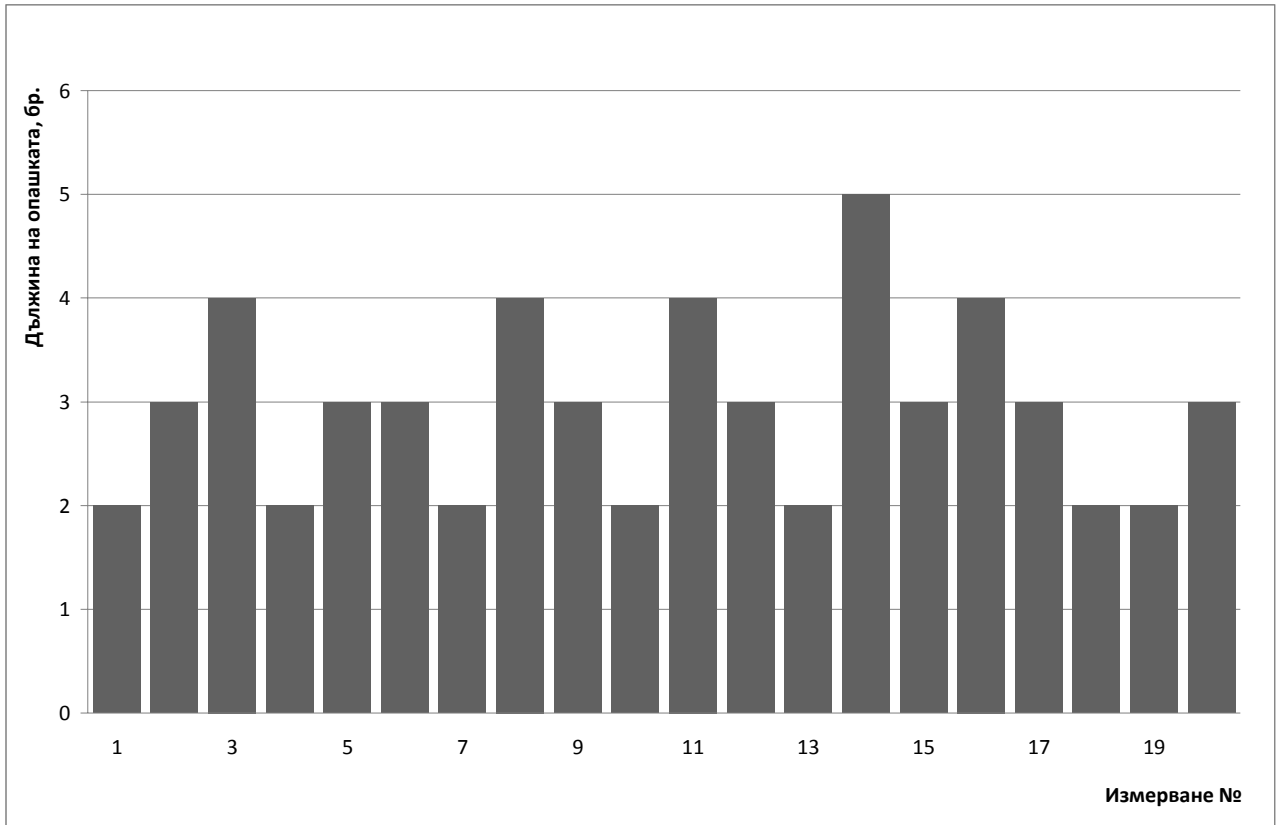
Фиг. ПШ.24 Дължини на опашката за поток 4 за непигов период



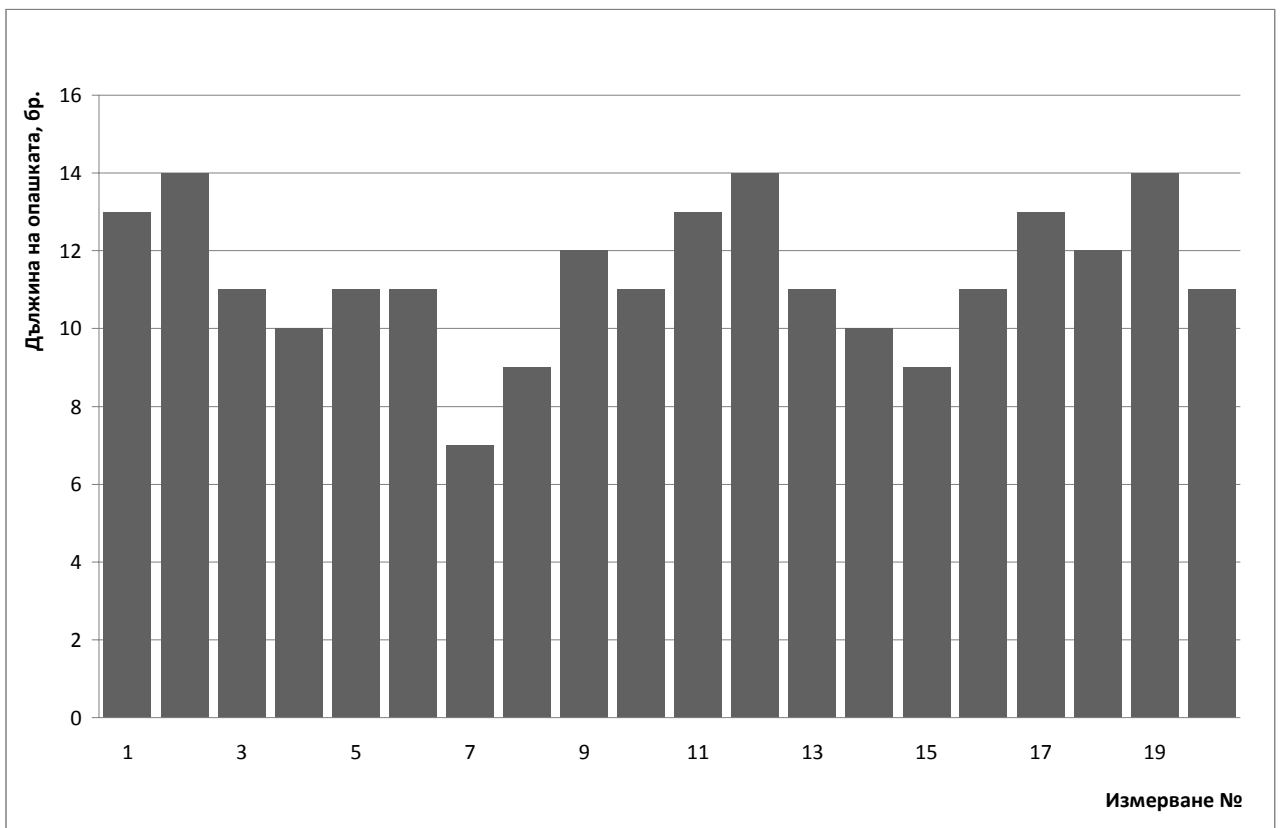
Фиг. ПШ.25 Дължини на опашката за поток 5 за непигов период



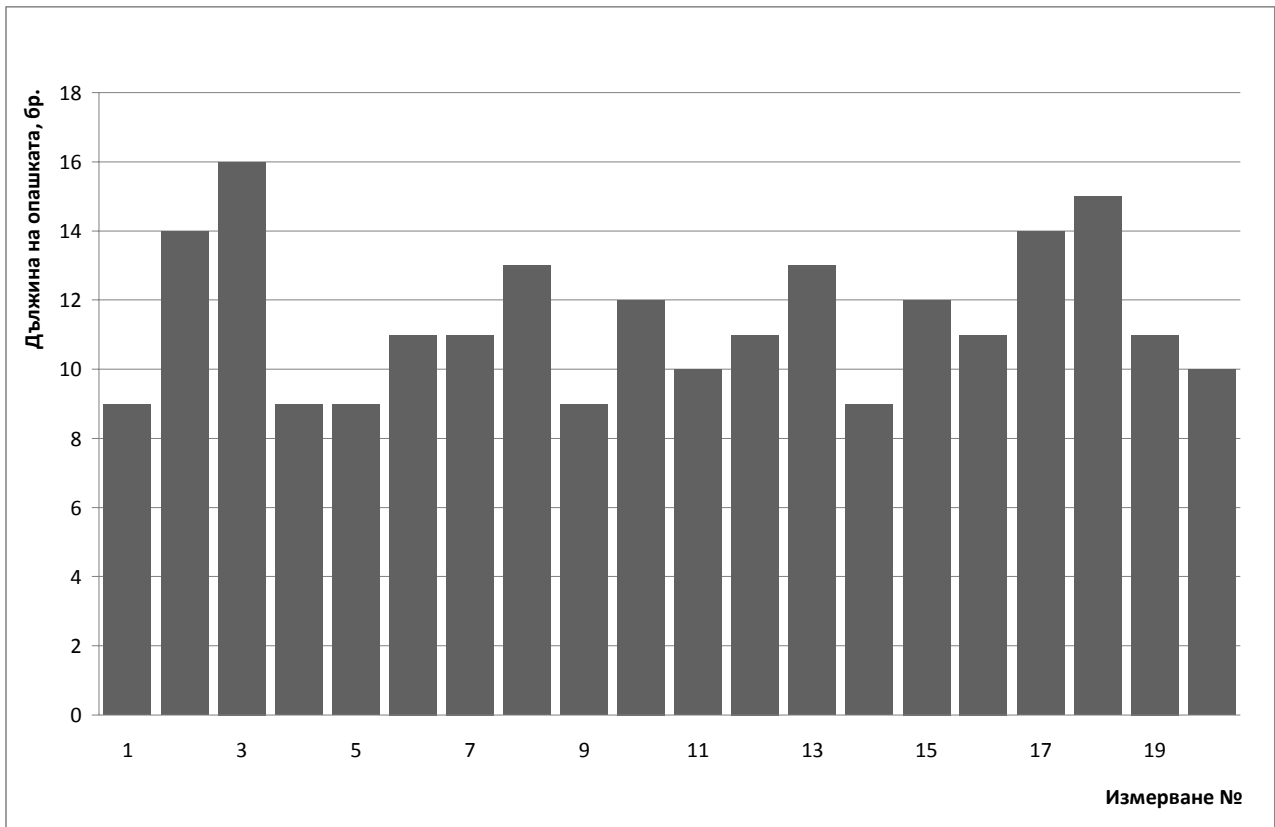
Фиг. ПШ.26 Дължини на опашката за поток 6 за непигов период



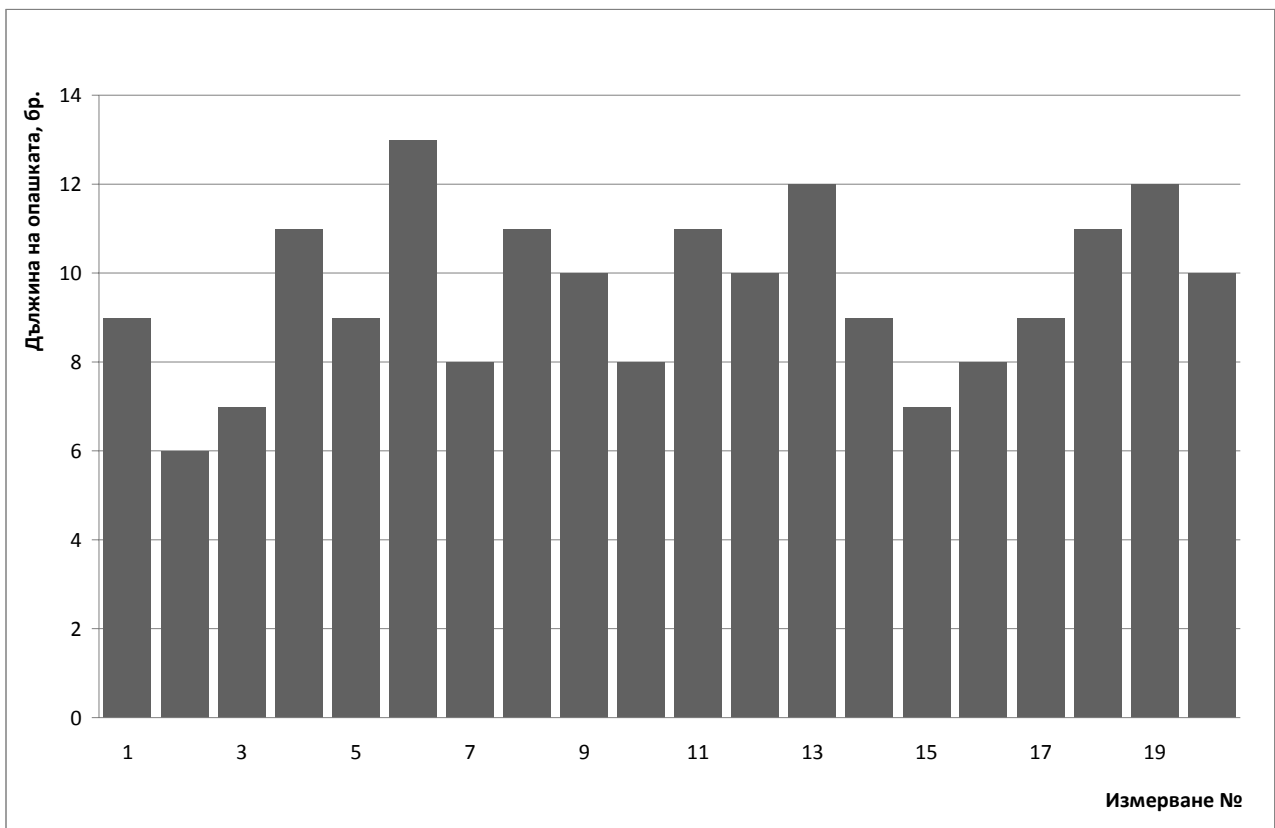
Фиг. ПШ.27 Дължини на опашката за поток 7 за непиков период



Фиг. ПШ.28 Дължини на опашката за поток 8 за непиков период



Фиг. ПШ.29 Дължини на опашката за поток 9 за непигов период



Фиг. ПШ.30 Дължини на опашката за поток 10 за непигов период

Таблица ПШ.4 Пропускателна способност за кръстовище 1, клон от към  
бул. „Христофор Колумб“

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	26	22	1,18
2	33	22	1,50
3	30	22	1,36
4	32	22	1,45
5	34	22	1,55
6	32	22	1,45
7	31	22	1,41
8	28	22	1,27
9	33	22	1,50
10	31	22	1,41
11	31	22	1,41
12	28	22	1,27
13	33	22	1,50
14	32	22	1,45
15	32	22	1,45
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,41</b>

Таблица ПШ.5 Пропускателна способност за кръстовище 1, клон от към  
бул. „проф. Цветан Лазаров“

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	10	10,5	0,95
2	11	10	1,10
3	6	5	1,20
4	2	3	0,67
5	7	8	0,88
6	6	8	0,75
7	6	6	1,00
8	9	10	0,90
9	8	8	1,00
10	9	11	0,82
11	11	10	1,10
12	6	8	0,75
13	7	8	0,88
14	6	6	1,00
15	10	10	1,00
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,93</b>

Таблица ПШ.6 Пропускателна способност за кръстовище 2, клон от към  
бул. „проф. Цветан Лазаров”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	22	18	1,22
2	11	10	1,10
3	10	12	0,83
4	18	15	1,20
5	11	9	1,22
6	21	17	1,24
7	12	11	1,09
8	14	15	0,93
9	17	14	1,21
10	12	10	1,20
11	13	10	1,30
12	12	12	1,00
13	12	11	1,09
14	17	15	1,13
15	12	10	1,20
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,13</b>

Таблица ПШ.7 Пропускателна способност за кръстовище 3, клон от към  
бул. „Христофор Колумб”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	21	18	1,17
2	15	14	1,07
3	22	17	1,29
4	19	16	1,19
5	16	14	1,14
6	20	17	1,18
7	16	15	1,07
8	20	17	1,18
9	18	16	1,13
10	21	18	1,17
11	22	18	1,22
12	20	17	1,18
13	18	16	1,13
14	19	16	1,19
15	17	15	1,13
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,16</b>

Таблица ПШ.8 Пропускателна способност за кръстовище 3, клон от към бул. „кап. Димитър Списаревски”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	9	12	0,75
2	4	6	0,67
3	14	18	0,78
4	4	6	0,67
5	11	12	0,92
6	10	12	0,83
7	6	7	0,86
8	15	18	0,83
9	12	16	0,75
10	8	10	0,80
11	4	6	0,67
12	6	7	0,86
13	10	12	0,83
14	13	18	0,72
15	11	12	0,92
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,79</b>

Таблица ПШ.9 Пропускателна способност за кръстовище 4, клон от към бул. „Христофор Колумб”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	7	10	0,70
2	5	9	0,56
3	12	15	0,80
4	8	11	0,73
5	15	15	1,00
6	8	11	0,73
7	9	12	0,75
8	12	13	0,92
9	14	13	1,08
10	9	11	0,82
11	8	10	0,80
12	8	11	0,73
13	12	15	0,80
14	10	12	0,83
15	12	13	0,92
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,81</b>

Таблица ПШ.10 Пропускателна способност за кръстовище 4, клон от към бул. „кап. Димитър Списаревски”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	10	13	0,77
2	8	12	0,67
3	12	15	0,80
4	6	10	0,60
5	11	13	0,85
6	9	12	0,75
7	10	14	0,71
8	14	17	0,82
9	7	11	0,64
10	8	11	0,73
11	10	13	0,77
12	6	12	0,50
13	7	10	0,70
14	12	15	0,80
15	15	17	0,88
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,73</b>

Таблица ПШ.11 Пропускателна способност за кръстовище 5, клон от към бул. „Христофор Колумб”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	13	12	1,08
2	18	14	1,29
3	12	13	0,92
4	21	18	1,17
5	19	14	1,36
6	15	13	1,15
7	20	17	1,18
8	14	13	1,08
9	16	15	1,07
10	20	18	1,11
11	12	12	1,00
12	12	13	0,92
13	22	18	1,22
14	19	14	1,36
15	21	17	1,24
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,14</b>



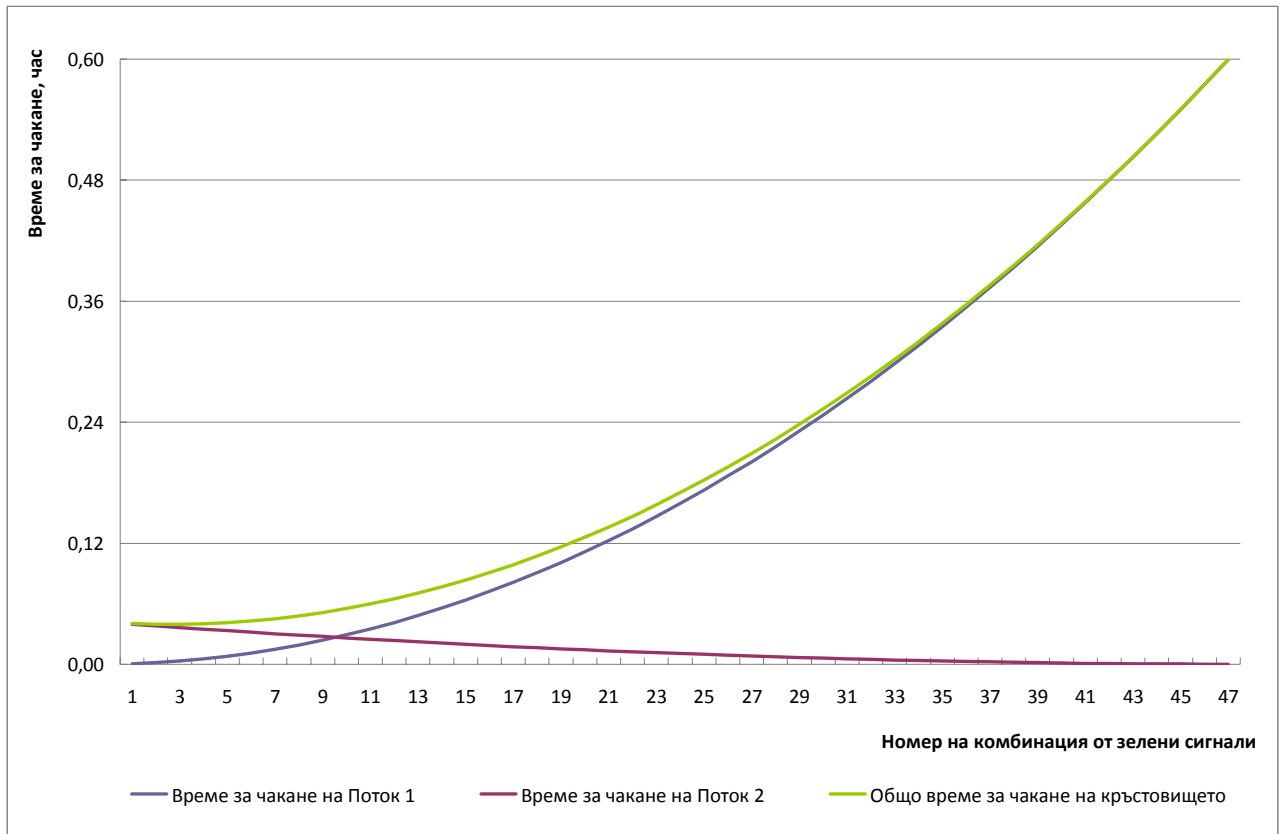
Таблица ПШ.12 Пропускателна способност за кръстовище 5, клон от към  
бул. „проф. Цетан Лазаров”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	4	6	0,67
2	6	6	1,00
3	5	7	0,71
4	8	9	0,89
5	7	8	0,88
6	5	6	0,83
7	8	9	0,89
8	8	10	0,80
9	7	8	0,88
10	5	6	0,83
11	6	6	1,00
12	5	6	0,83
13	5	6	0,83
14	8	10	0,80
15	8	10	0,80
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>0,84</b>

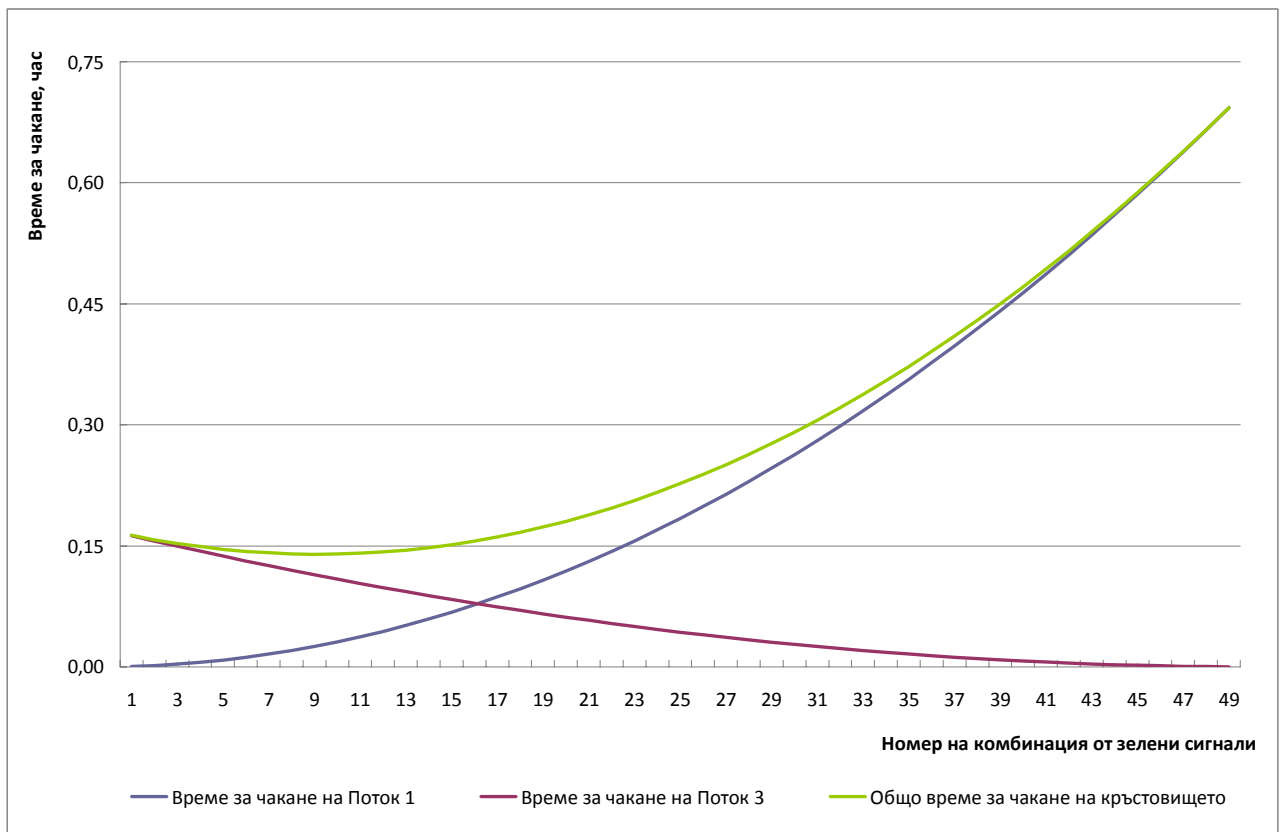
Таблица ПШ.13 Пропускателна способност за кръстовище 6, клон от към  
бул. „проф. Цетан Лазаров”

Измерване №	Преминали автомобили $A_{pi}$	Време за преминаване $t_{pi}$	Пропускателна способност, а/сек.
1	22	17	1,29
2	19	14	1,36
3	20	17	1,18
4	19	14	1,36
5	17	17	1,00
6	20	15	1,33
7	17	15	1,13
8	21	18	1,17
9	17	18	0,94
10	19	16	1,19
11	22	17	1,29
12	20	17	1,18
13	21	18	1,17
14	20	17	1,18
15	19	15	1,27
<b>Пропускателна способност за клона <math>I_p^f</math></b>			<b>1,20</b>

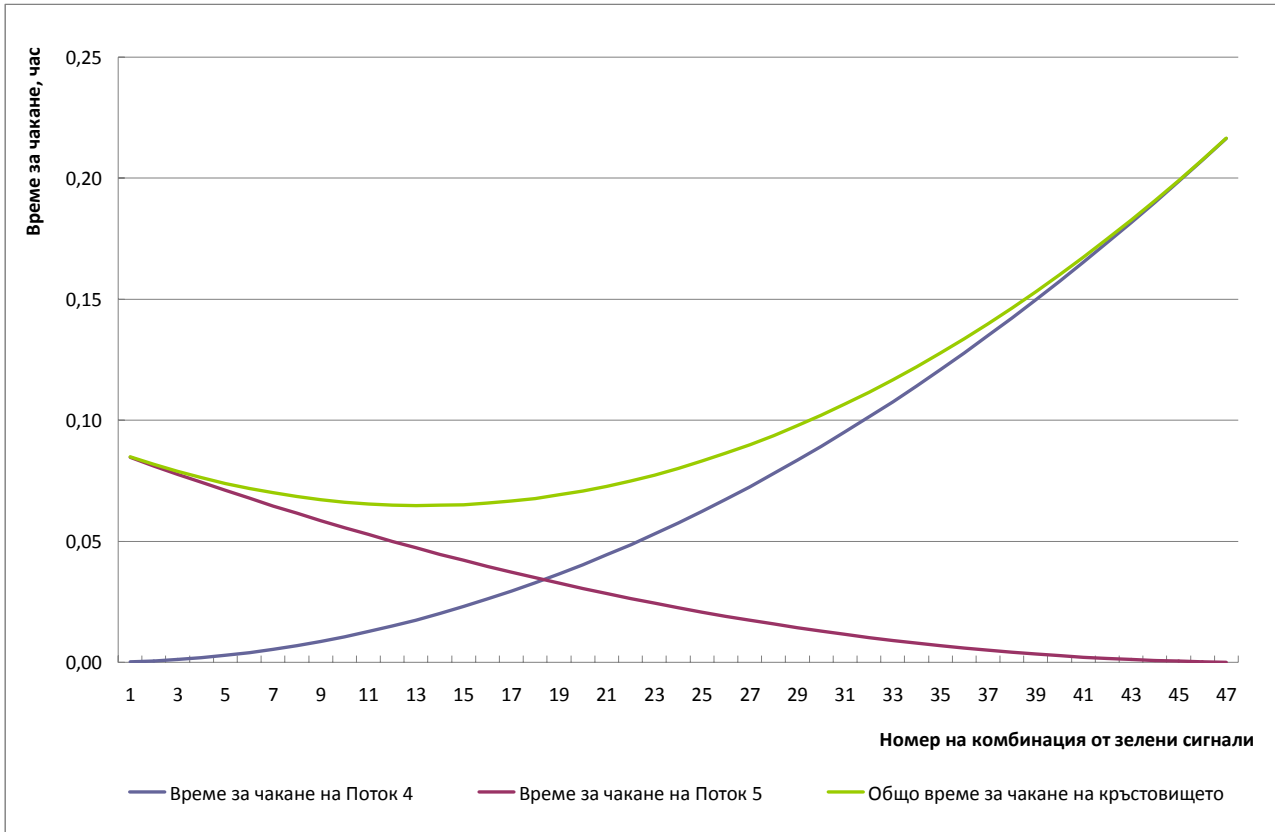
# **ПРИЛОЖЕНИЕ V**



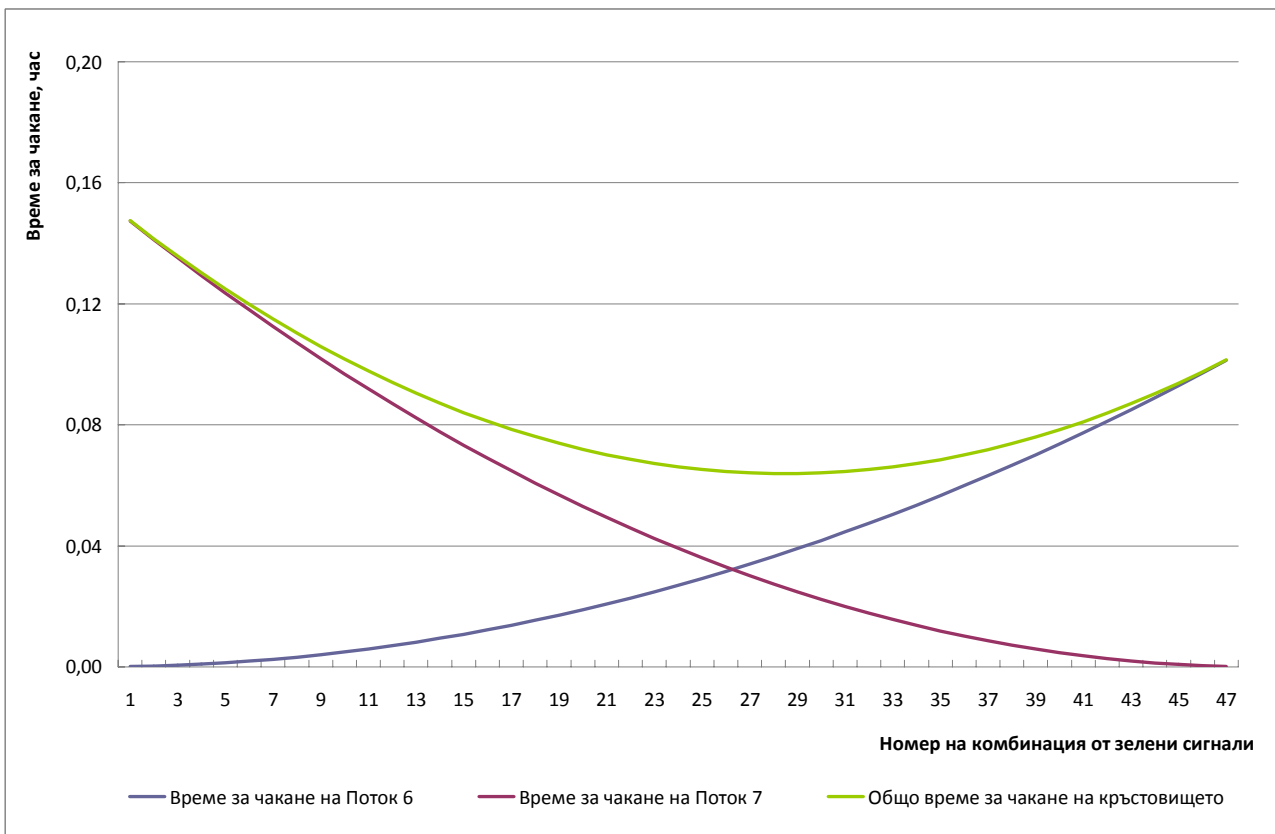
Фиг. ПIV.1 Изменение на времето за чакане на кръстовище 1 за сутрешен пик



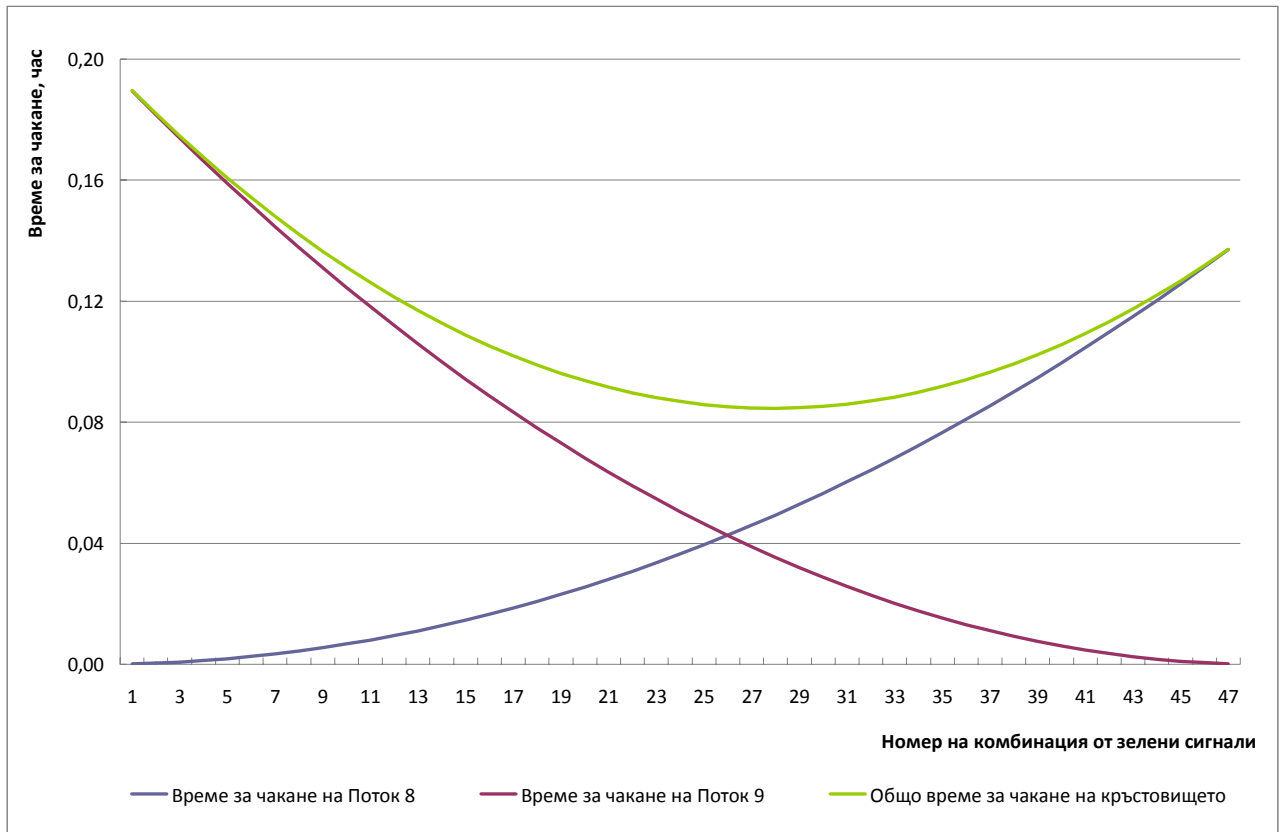
Фиг. ПIV.2 Изменение на времето за чакане на кръстовище 2 за сутрешен пик



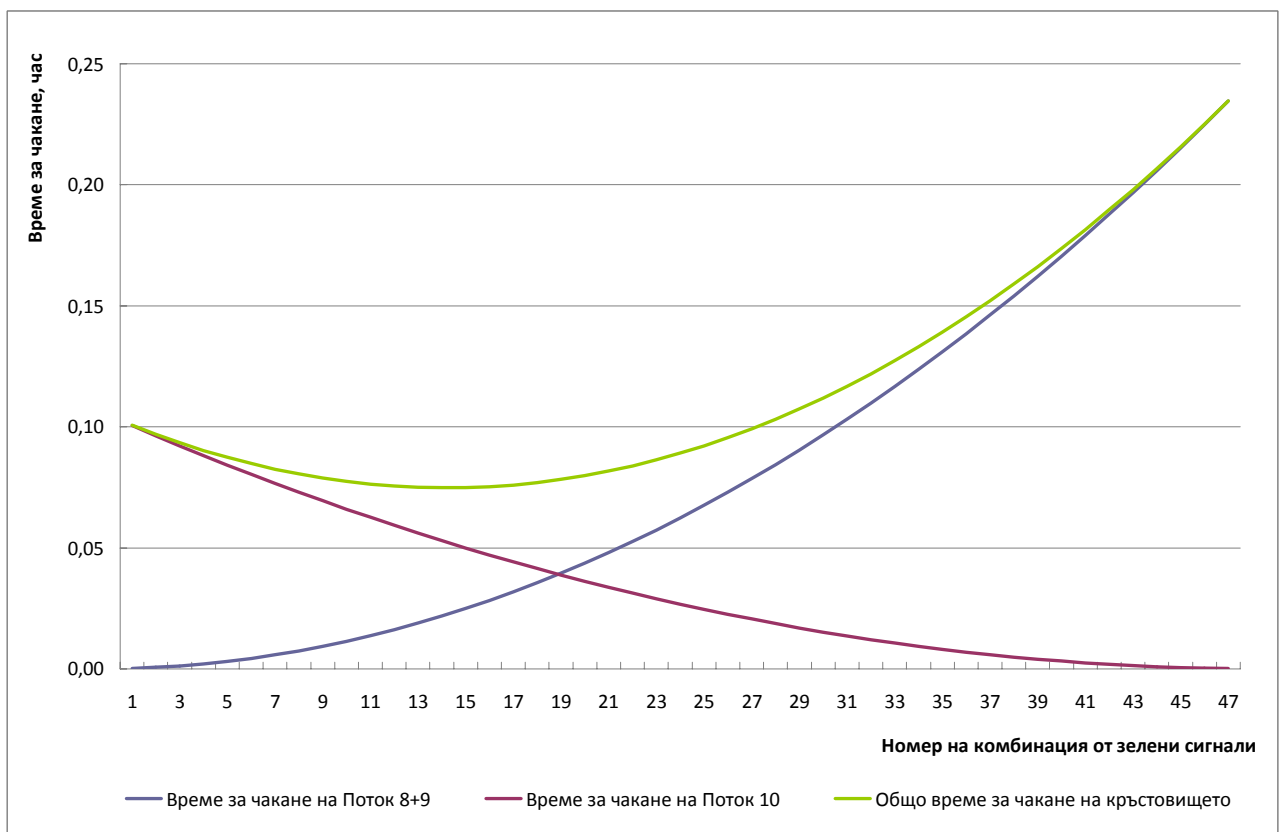
Фиг. ПIV.3 Изменение на времето за чакане на кръстовище 3 за сутрешен пик



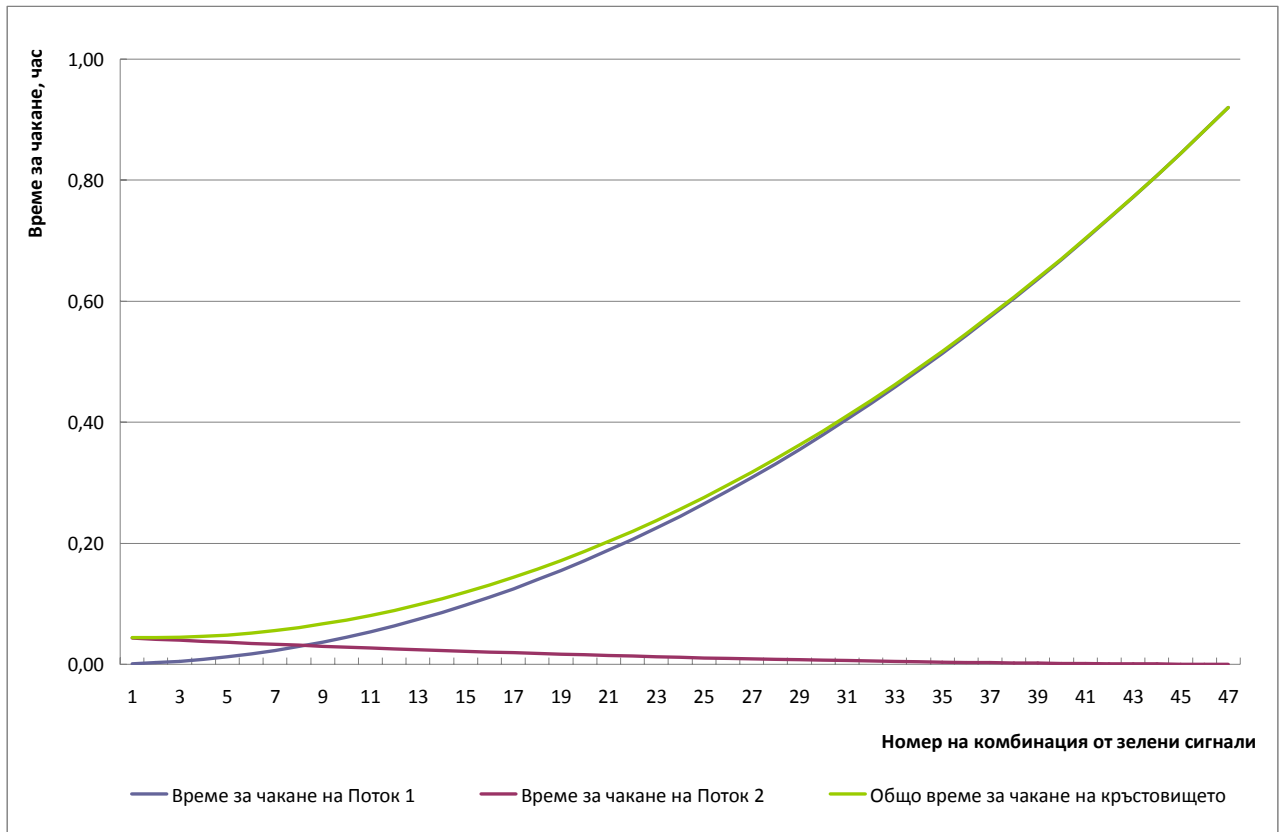
Фиг. ПIV.4 Изменение на времето за чакане на кръстовище 4 за сутрешен пик



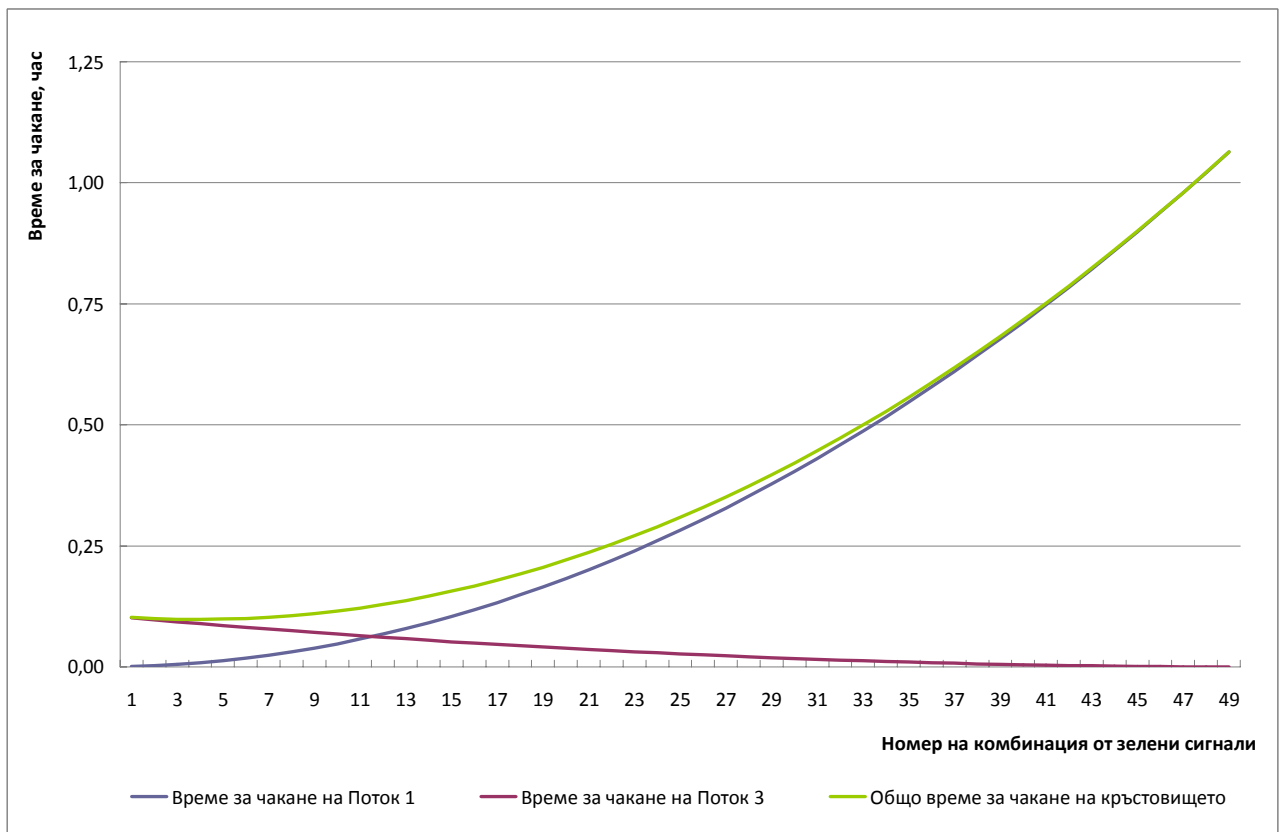
Фиг. ПIV.5 Изменение на времето за чакане на кръстовище 5 за сутрешен пик



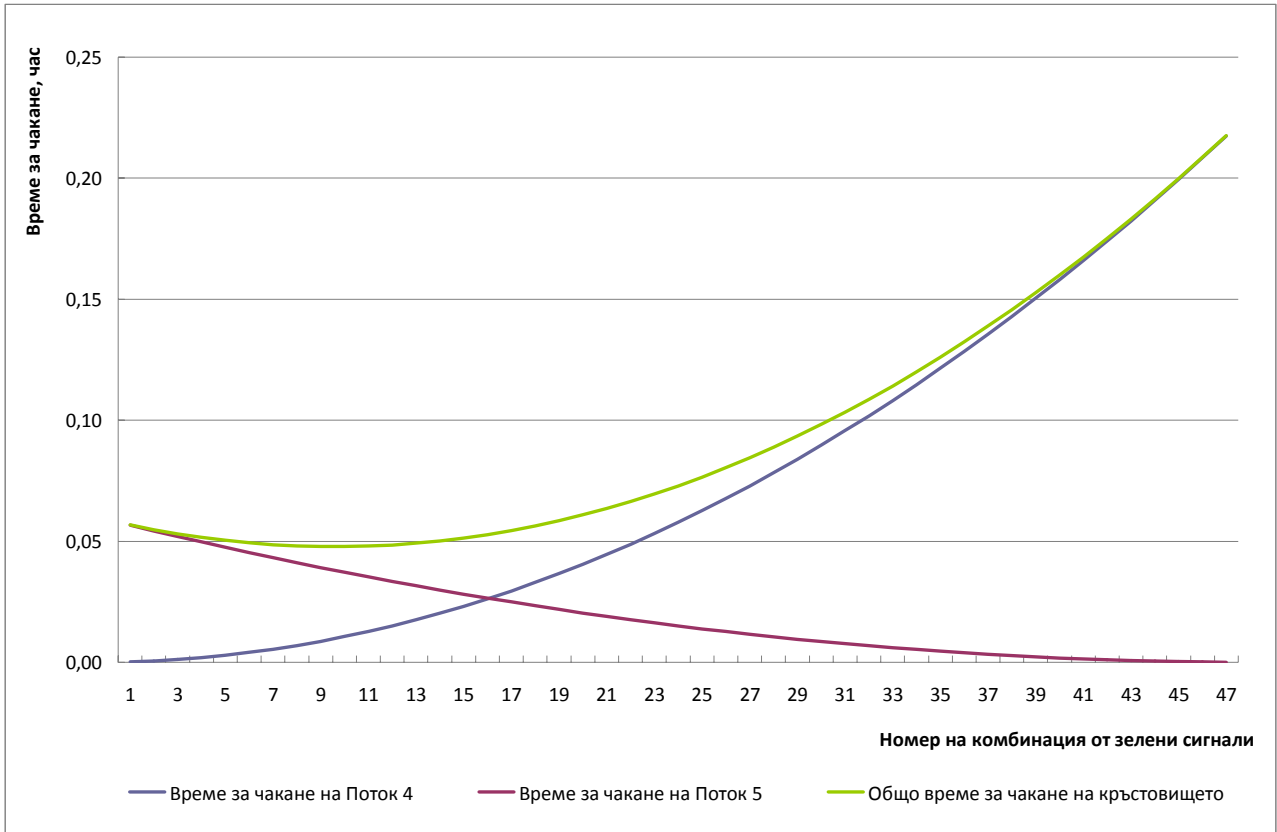
Фиг. ПIV.6 Изменение на времето за чакане на кръстовище 6 за сутрешен пик



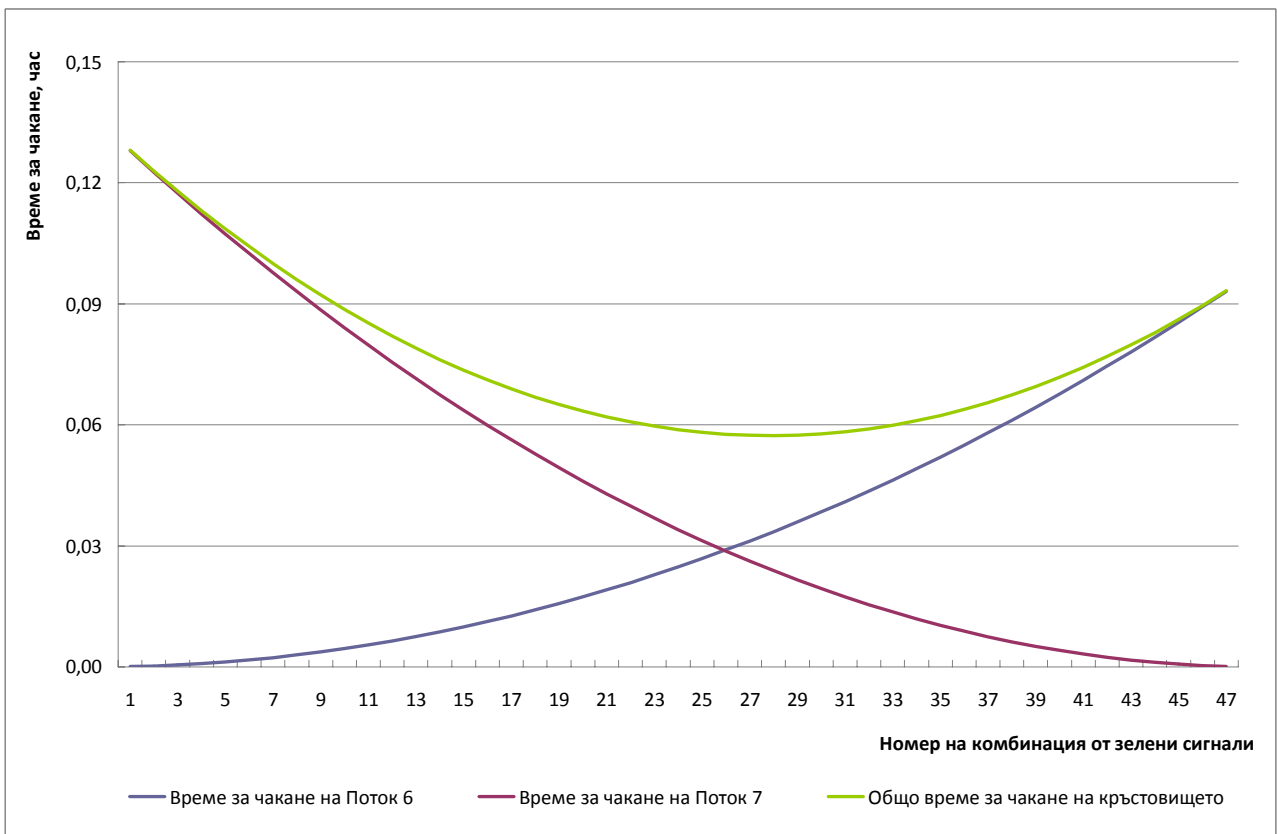
Фиг. IV.7 Изменение на времето за чакане на кръстовище 1 за вечерен пик



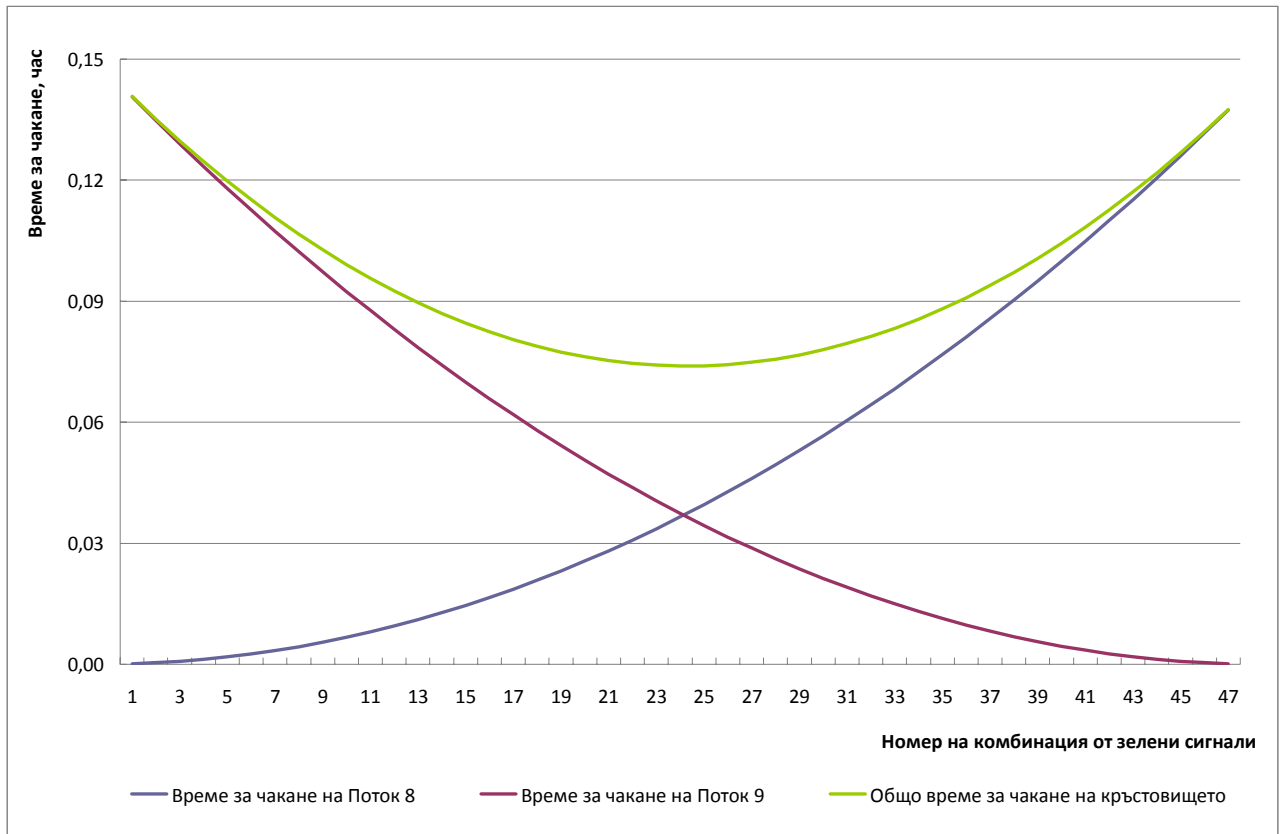
Фиг. IV.8 Изменение на времето за чакане на кръстовище 2 за вечерен пик



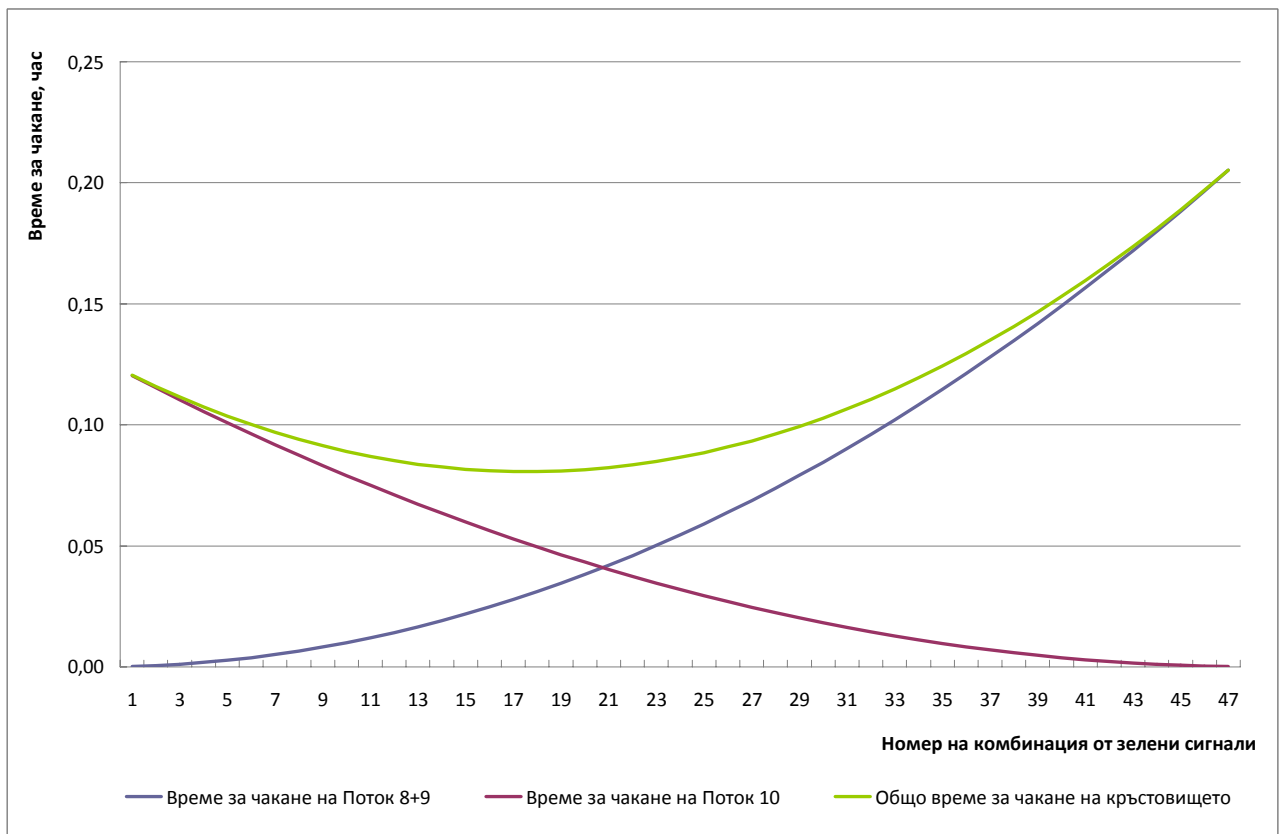
Фиг. ПIV.9 Изменение на времето за чакане на кръстовище 3 за вечерен пик



Фиг. ПIV.10 Изменение на времето за чакане на кръстовище 4 за вечерен пик



Фиг. IV.11 Изменение на времето за чакане на кръстовище 5 за вечерен пик



Фиг. IV.12 Изменение на времето за чакане на кръстовище 6 за вечерен пик



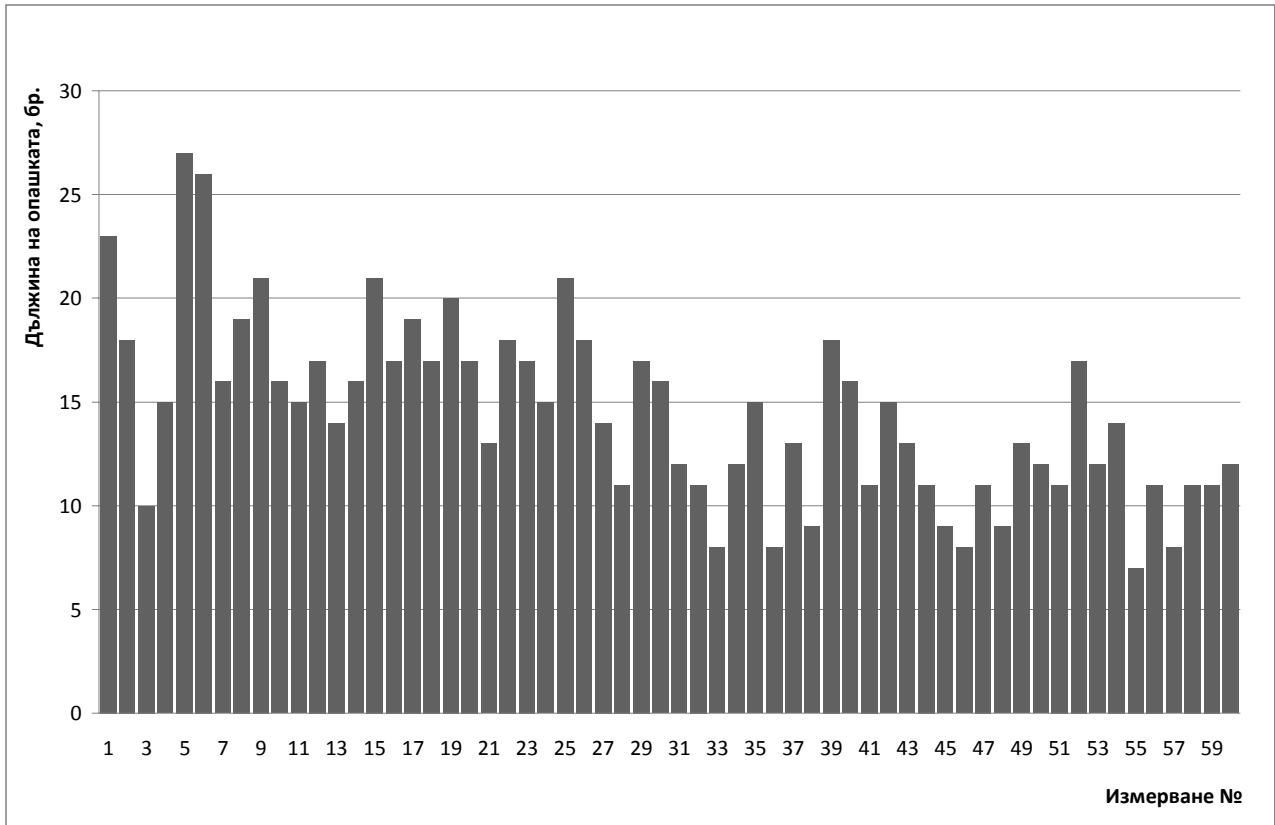
# **ПРИЛОЖЕНИЕ VI**

Таблица ПVI.1 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за сутрешен пик след оптимизирането

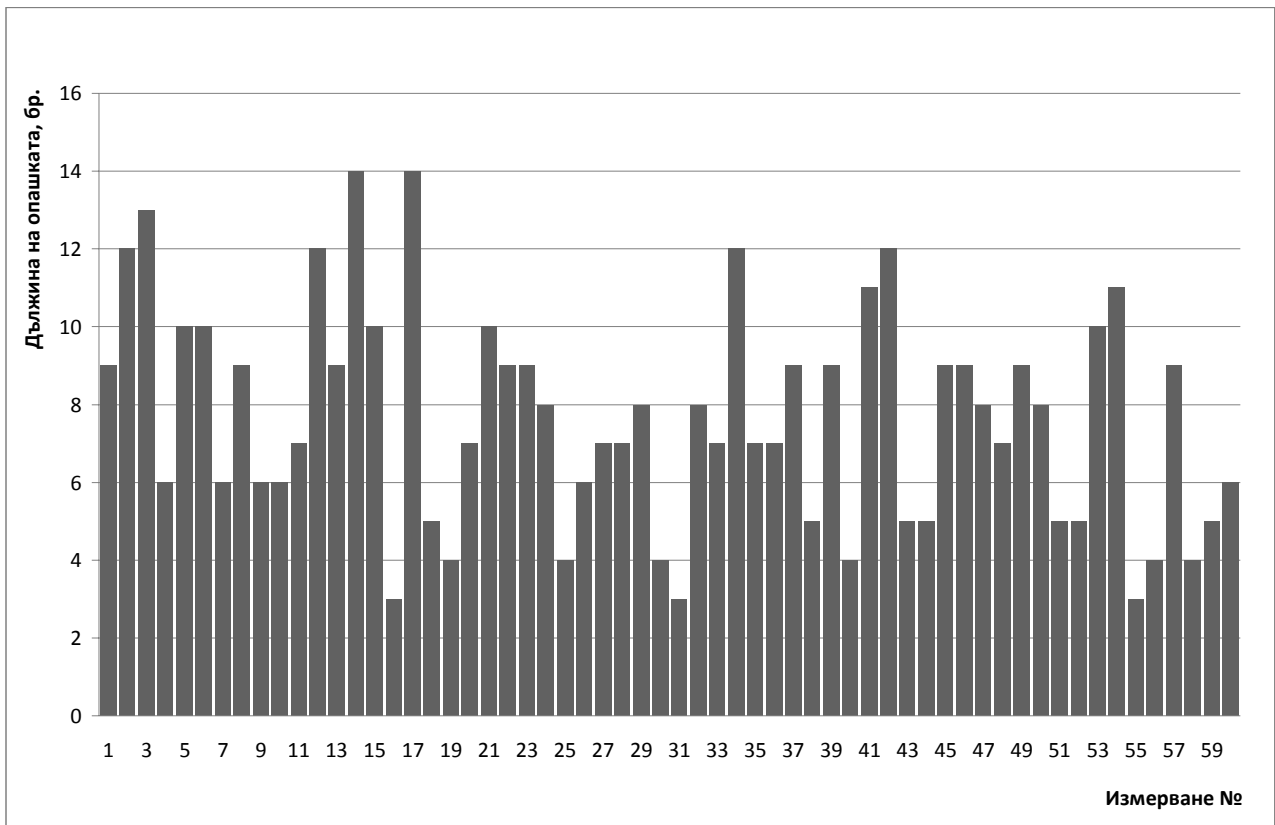
Измер- ване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	23	9	20	2	1	22	10	18	20	15
2	18	12	27	3	7	20	12	18	7	8
3	10	13	12	2	13	14	14	18	13	14
4	15	6	10	3	12	11	8	14	11	12
5	27	10	18	2	19	11	10	18	15	9
6	26	10	19	3	17	11	14	20	7	11
7	16	6	16	2	21	12	14	15	7	11
8	19	9	13	3	22	18	14	17	1	3
9	21	6	16	2	19	22	24	19	4	16
10	16	6	19	3	14	11	15	20	12	17
11	15	7	16	5	11	14	16	24	15	23
12	17	12	22	4	9	21	16	23	11	13
13	14	9	16	1	11	16	11	26	13	17
14	16	14	18	4	13	13	15	22	16	11
15	21	10	19	4	15	12	12	24	15	12
16	17	3	24	3	16	16	18	18	10	7
17	19	14	19	4	15	15	7	24	23	10
18	17	5	17	4	15	16	12	18	25	18
19	20	4	18	2	13	11	16	14	17	12
20	17	7	16	2	14	14	11	15	16	25
21	13	10	14	4	12	10	6	19	21	20
22	18	9	10	1	12	13	14	12	17	14
23	17	9	16	4	12	10	5	16	14	17
24	15	8	11	1	10	13	9	14	25	24
25	21	4	12	3	8	16	12	13	20	12
26	18	6	13	3	9	14	9	18	10	9
27	14	7	10	2	10	15	9	17	16	8
28	11	7	11	1	12	9	9	15	15	5
29	17	8	12	1	10	13	9	16	16	5
30	16	4	13	1	11	8	13	15	9	10
31	12	3	7	4	14	5	10	18	18	13
32	11	8	7	1	11	12	15	12	21	26
33	8	7	13	0	14	14	16	19	17	19

Таблица ПVI.1 – продължение

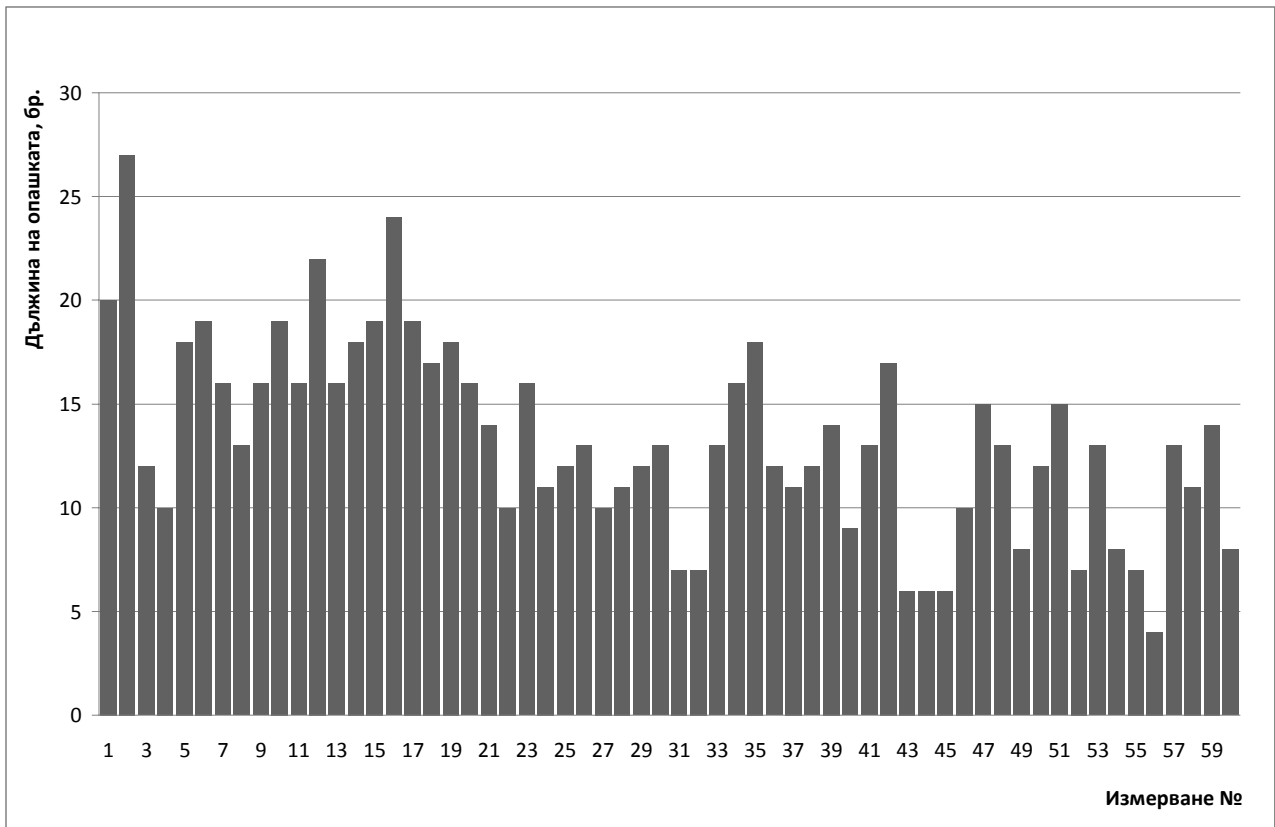
34	12	12	16	0	17	10	14	24	18	14
35	15	7	18	4	11	11	14	21	19	4
36	8	7	12	1	12	10	10	21	15	12
37	13	9	11	2	9	9	8	16	11	16
38	9	5	12	1	8	6	15	9	16	7
39	18	9	14	0	9	6	8	6	14	11
40	16	4	9	4	6	12	9	10	15	9
41	11	11	13	2	9	10	7	10	18	7
42	15	12	17	1	6	14	10	17	14	8
43	13	5	6	0	8	14	12	8	16	12
44	11	5	6	0	9	12	7	12	18	12
45	9	9	6	1	7	10	10	18	10	6
46	8	9	10	2	12	14	12	14	10	5
47	11	8	15	1	11	12	5	20	19	18
48	9	7	13	0	7	14	7	15	25	15
49	13	9	8	0	6	12	13	12	14	10
50	12	8	12	1	7	9	6	13	19	9
51	11	5	15	5	8	3	8	15	20	15
52	17	5	7	3	9	13	10	6	17	22
53	12	10	13	3	11	8	8	14	20	14
54	14	11	8	2		10	9	15	22	19
55	7	3	7	3	8	11	11	16	17	18
56	11	4	4	0	7	2	6	13	16	9
57	8	9	13	0	9	5	7	10	18	14
58	11	4	11	2	6	11	7	5	18	10
59	11	5	14	2	4	9	3	14	12	10
60	12	6	8	5	8	8	7	10	12	14
<b>Средна дължина на опашката</b>	<b>14,53</b>	<b>7,67</b>	<b>13,37</b>	<b>2,15</b>	<b>6,00</b>	<b>11,95</b>	<b>10,80</b>	<b>15,88</b>	<b>15,33</b>	<b>12,77</b>



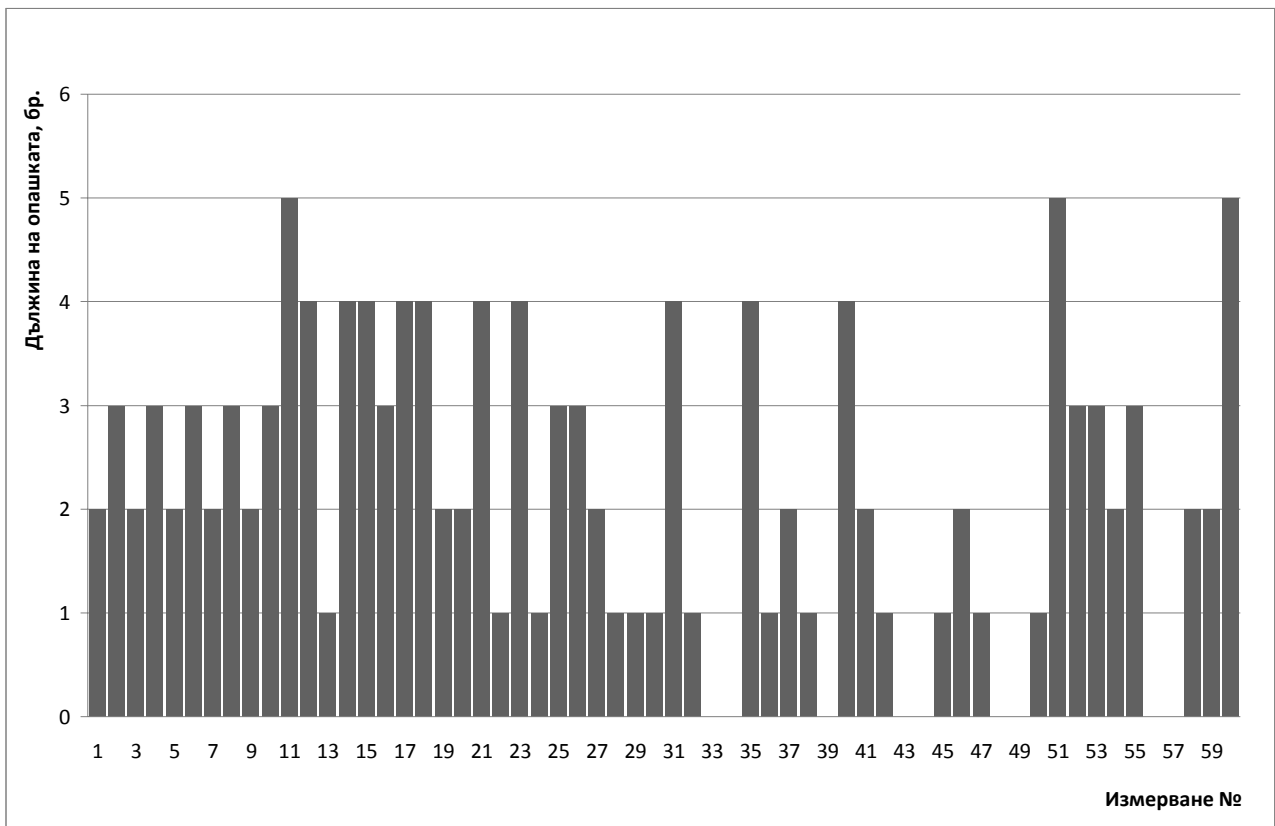
Фиг. ПVI.1 Дължини на опашката за поток 1 за сутрешен пик след оптимизирането



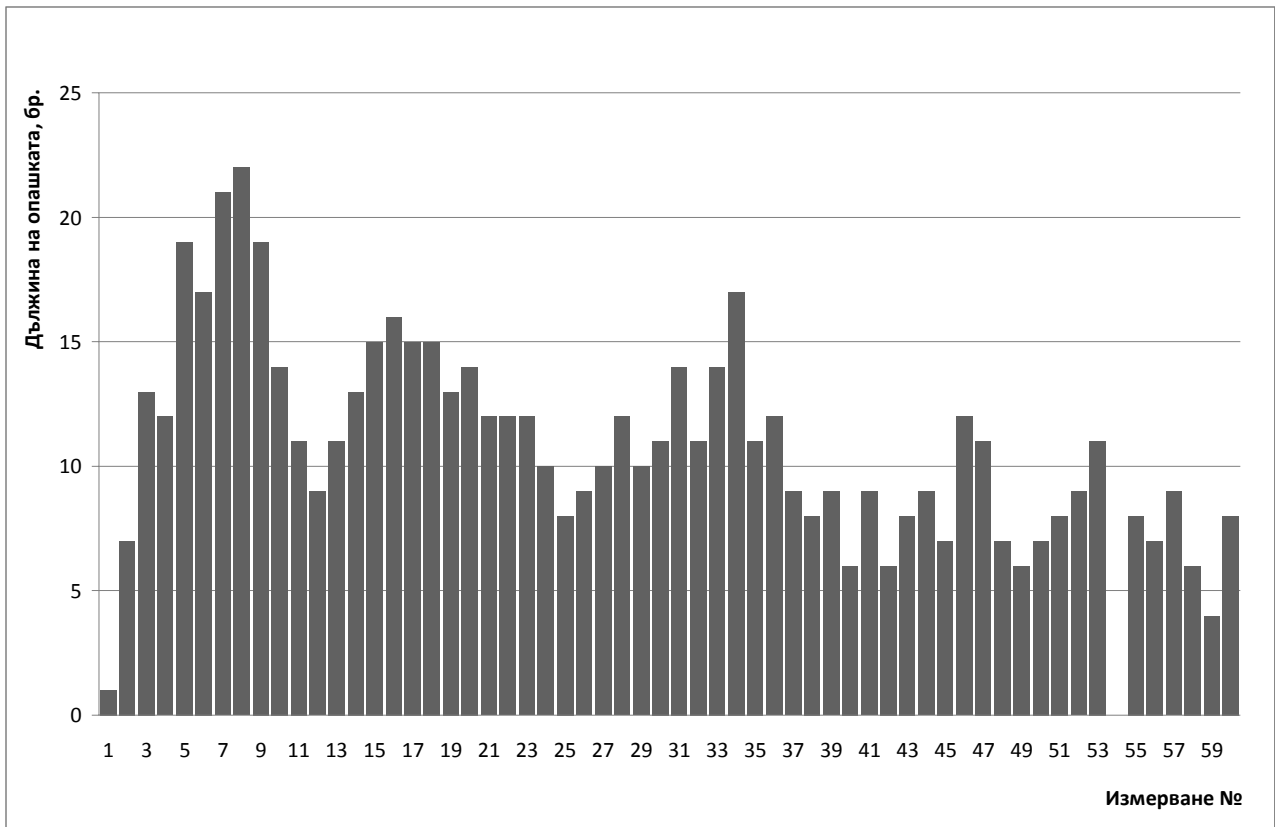
Фиг. ПVI.2 Дължини на опашката за поток 2 за сутрешен пик след оптимизирането



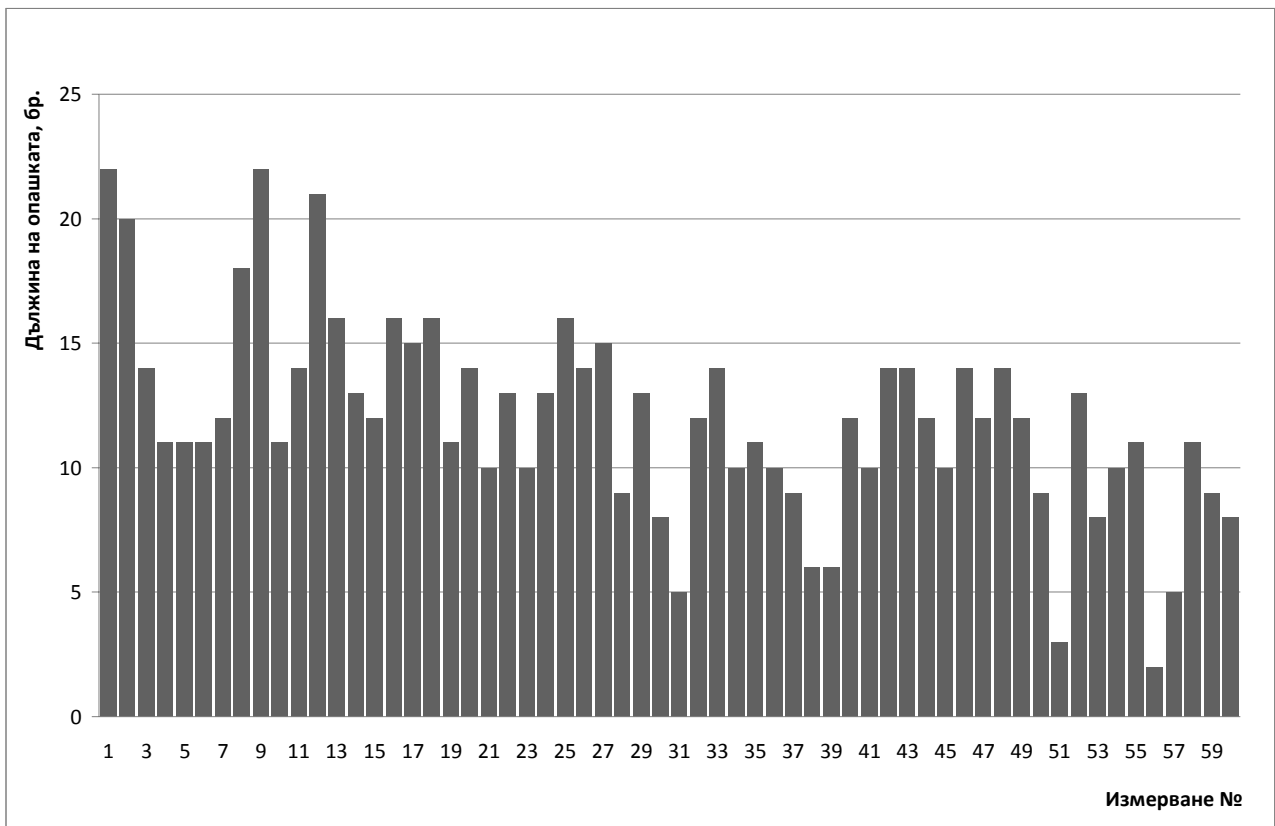
Фиг. ПVI.3 Дължини на опашката за поток 3 за сутрешен пик след оптимизирането



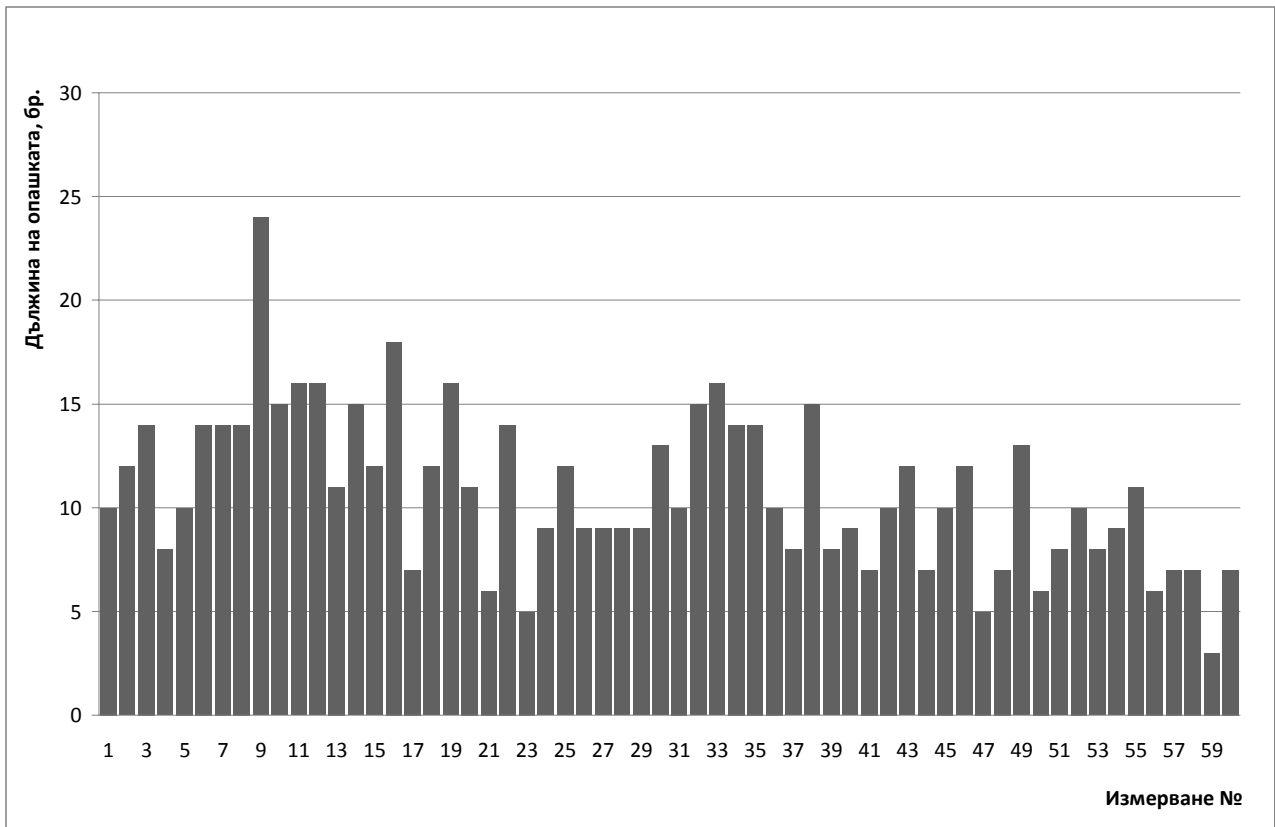
Фиг. ПVI.4 Дължини на опашката за поток 4 за сутрешен пик след оптимизирането



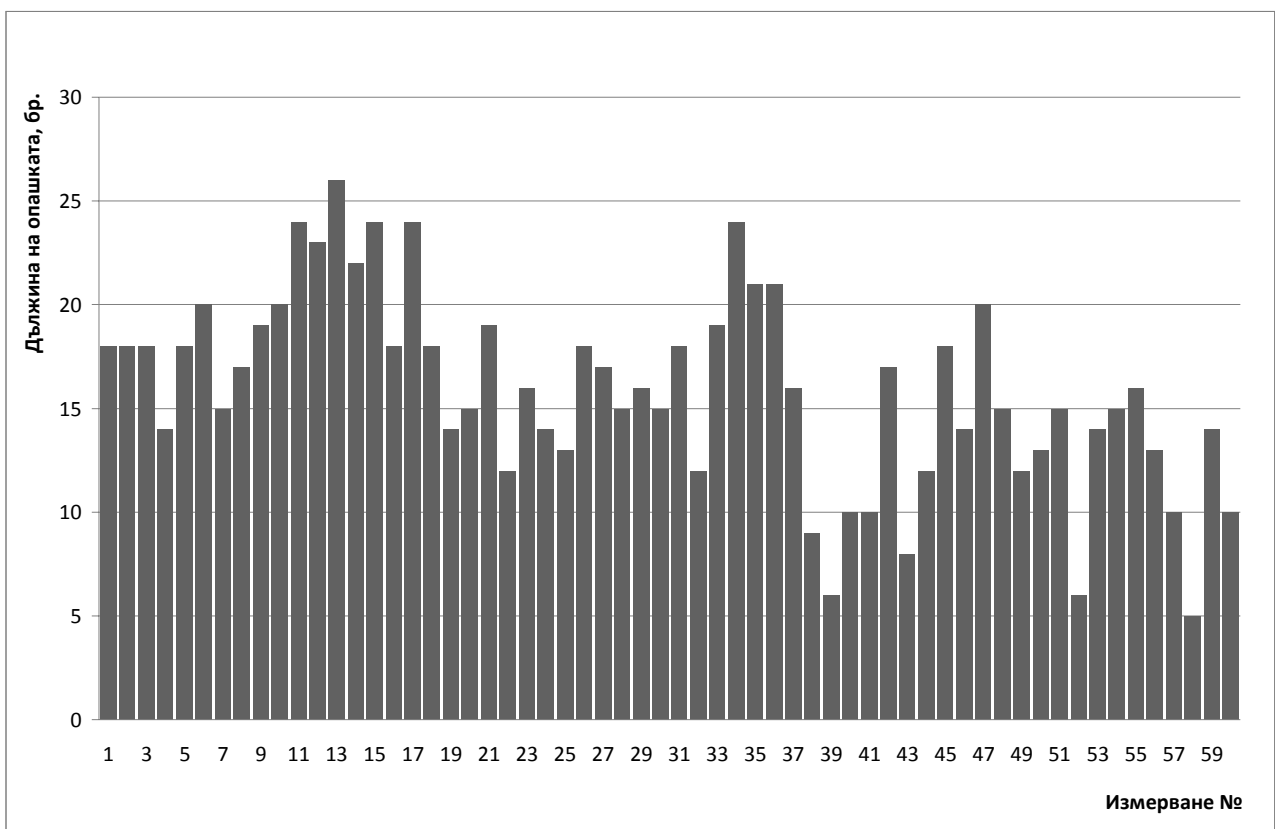
Фиг. ПVI.5 Дължини на опашката за поток 5 за сутрешен пик след оптимизирането



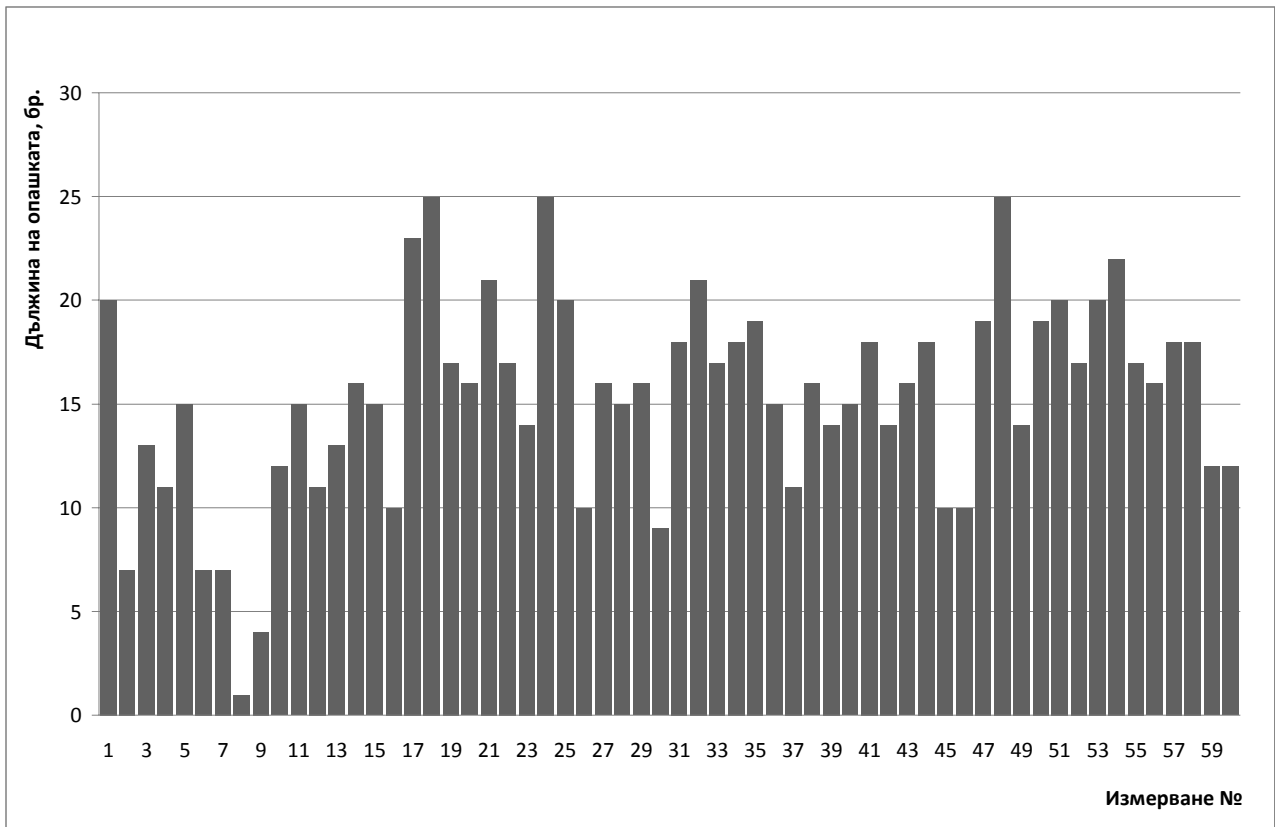
Фиг. ПVI.6 Дължини на опашката за поток 6 за сутрешен пик след оптимизирането



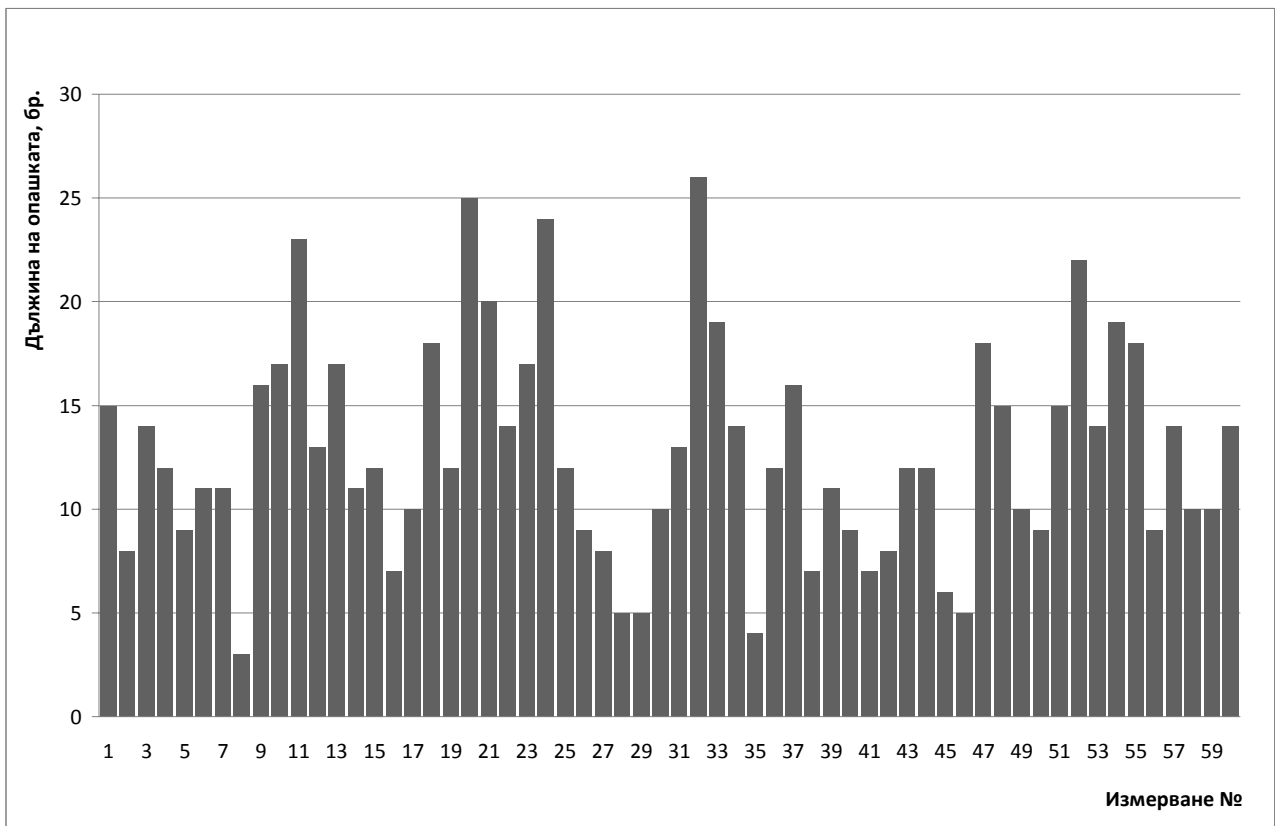
Фиг. ПVI.7 Дължини на опашката за поток 7 за сутрешен пик след оптимизирането



Фиг. ПVI.8 Дължини на опашката за поток 8 за сутрешен пик след оптимизирането



Фиг. ПVI.9 Дължини на опашката за поток 9 за сутрешен пик след оптимизирането



Фиг. ПVI.10 Дължини на опашката за поток 10 за сутрешен пик след оптимизирането

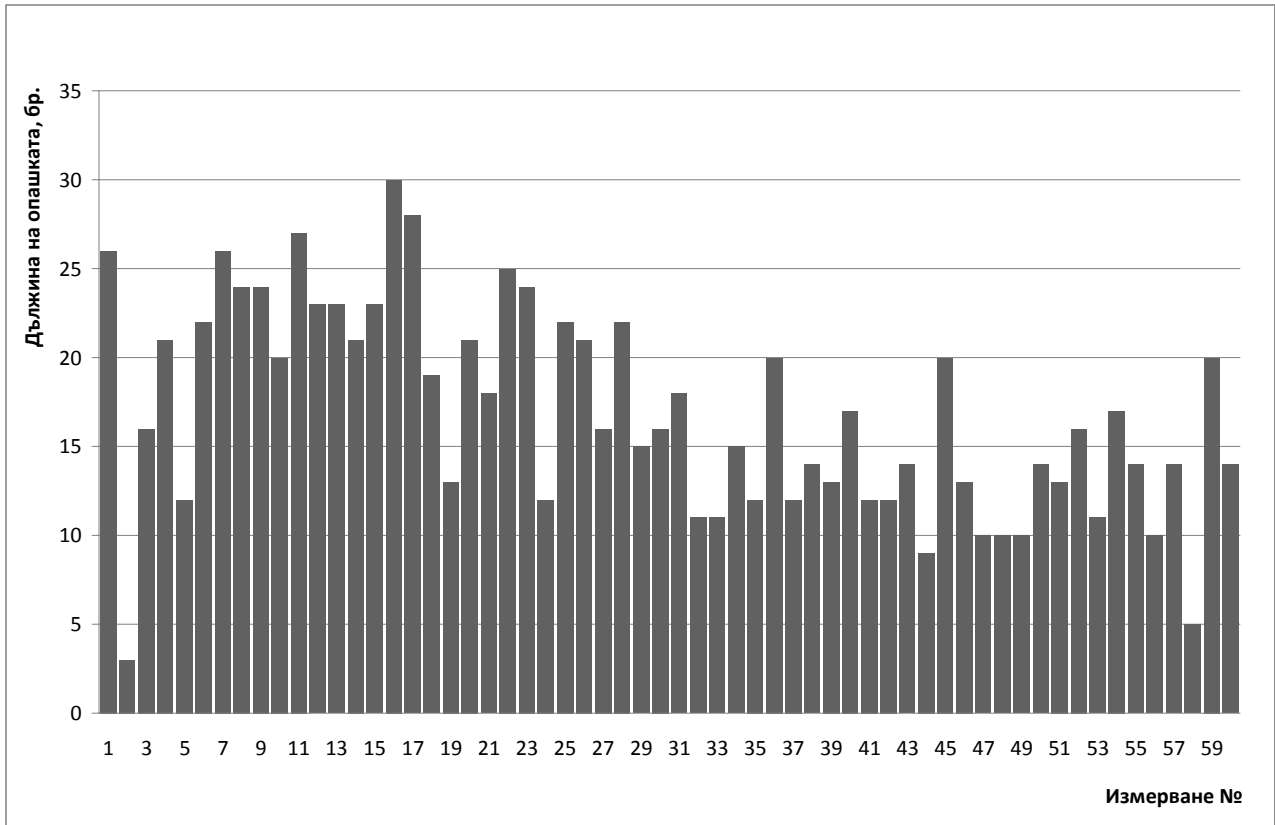


Таблица ПVI.2 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за вечерен пик след оптимизирането

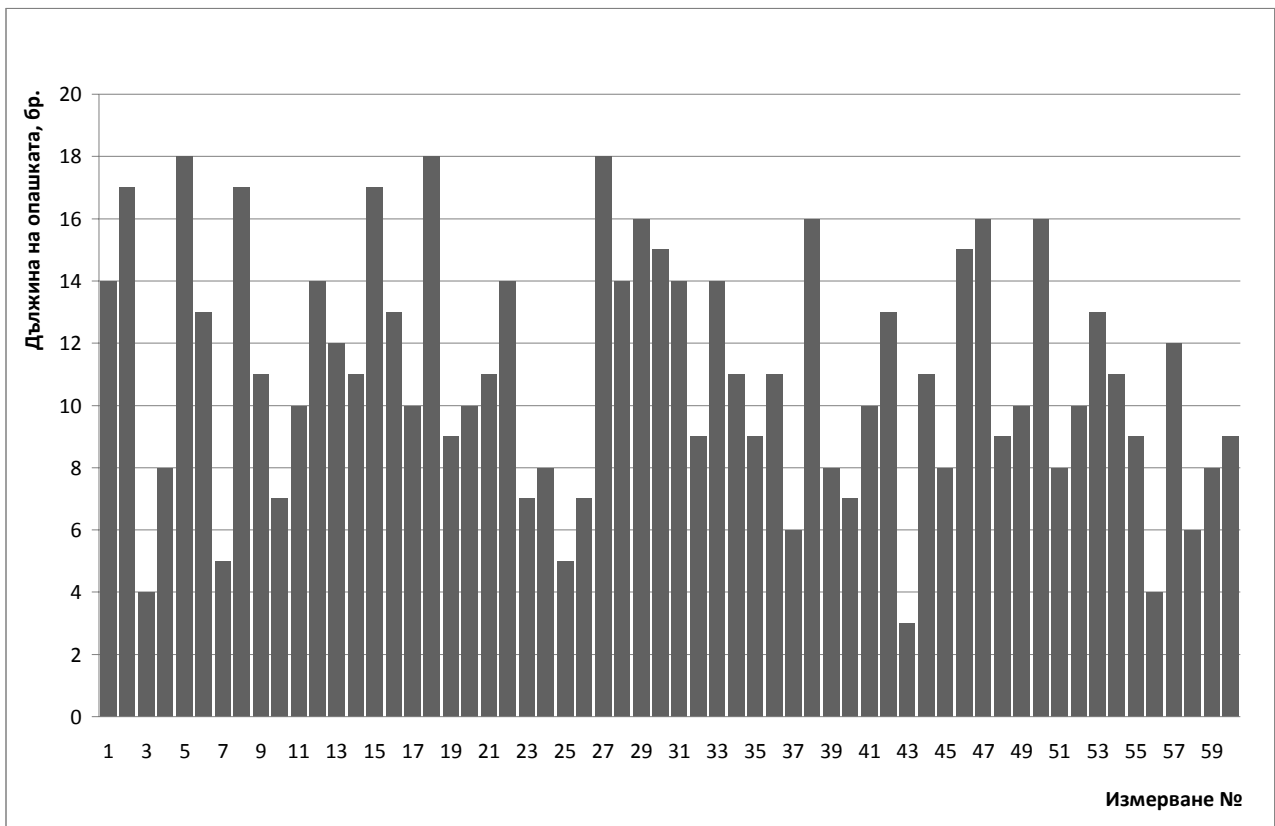
Измер- ване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	26	14	7	2	11	14	9	12	10	9
2	3	17	9	3	4	7	6	20	10	15
3	16	4	18	2	7	8	3	15	8	12
4	21	8	12	1	4	4	7	14	10	9
5	12	18	8	1	10	18	6	4	12	13
6	22	13	7	2	4	18	12	15	10	9
7	26	5	7	2	8	22	4	20	13	9
8	24	17	3	5	12	16	8	13	15	5
9	24	11	10	1	7	19	12	10	10	14
10	20	7	5	2	8	13	10	23	8	8
11	27	10	7	1	4	20	11	21	7	12
12	23	14	5	2	0	8	7	16	16	14
13	23	12	8	3	12	10	11	14	16	7
14	21	11	11	16	8	12	12	14	16	17
15	23	17	8	2	9	6	10	17	10	16
16	30	13	12	2	7	9	9	13	14	11
17	28	10	5	5	3	8	9	20	9	14
18	19	18	9	1	2	16	8	12	8	12
19	13	9	9	3	5	16	10	12	13	8
20	21	10	7	4	7	14	7	11	16	13
21	18	11	6	3	10	14	9	17	18	10
22	25	14	6	2	8	11	8	16	3	11
23	24	7	4	3	6	16	9	17	11	10
24	12	8	4	4	8	15	10	15	13	18
25	22	5	7	2	4	17	10	21	13	9
26	21	7	14	2	11	14	9	20	9	11
27	16	18	13	2	12	14	4	15	7	17
28	22	14	11	5	5	9	9	18	13	15
29	15	16	10	1	2	10	8	8	14	10
30	16	15	11	2	7	12	11	19	13	4
31	18	14	10	6	1	12	12	15	13	18
32	11	9	7	2	2	19	8	13	8	12
33	11	14	10	3	3	14	6	15	8	9

Таблица ПVI.2 – продължение

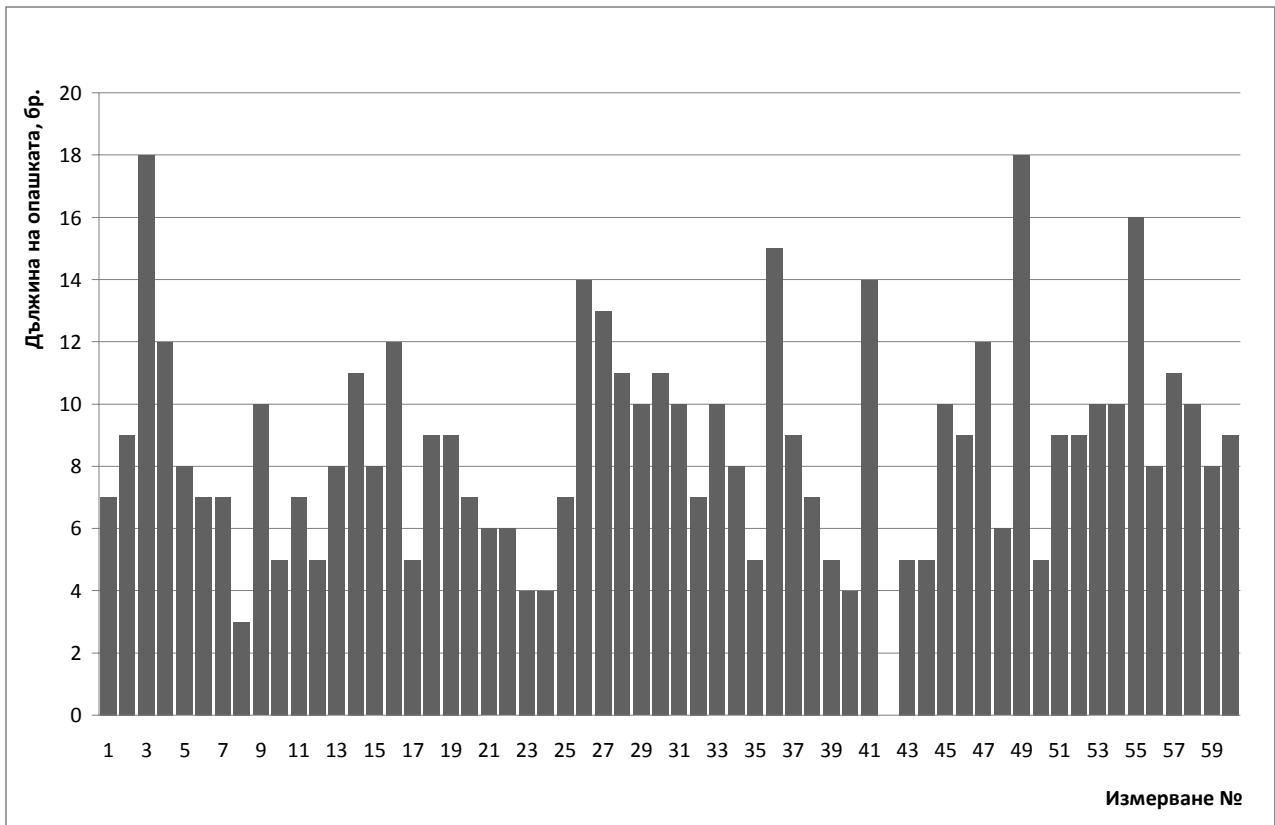
34	15	11	8	1	3	10	9	17	13	15
35	12	9	5	3	9	9	8	16	9	12
36	20	11	15	1	3	5	5	18	13	9
37	12	6	9	4	6	10	7	3	13	4
38	14	16	7	3	2	15	9	10	11	13
39	13	8	5	3	3	15	9	19	12	18
40	17	7	4	3	3	9	6	20	8	14
41	12	10	14	2	11	12	11	13	14	15
42	12	13	0	2	11	12	3	12	11	16
43	14	3	5	1	10	15	11	11	7	7
44	9	11	5	4	6	5	11	16	12	19
45	20	8	10	2	7	14	7	16	14	9
46	13	15	9	0	4	12	8	18	13	11
47	10	16	12	1	7	13	5	10	7	13
48	10	9	6	1	4	14	7	11	9	17
49	10	10	18	0	8	16	6	18	16	17
50	14	16	5	3	3	14	7	17	8	15
51	13	8	9	2	4	12	7	17	18	10
52	16	10	9	3	11	11	3	17	14	13
53	11	13	10	3	5	15	6	16	9	19
54	17	11	10	1	3	14	7	11	9	16
55	14	9	16	2	9	7	8	16	8	11
56	10	4	8	3	9	9	8	14	9	15
57	14	12	11	1	7	7	5	9	10	14
58	5	6	10	2	3	13	3	6	11	13
59	20	8	8	2	2	9	5	11	10	6
60	14	9	9	2	3	8	7	10	4	12
<b>Средна дължи- на на опаш- ката</b>	<b>16,90</b>	<b>10,98</b>	<b>8,62</b>	<b>2,53</b>	<b>6,00</b>	<b>12,33</b>	<b>7,87</b>	<b>14,62</b>	<b>11,10</b>	<b>12,23</b>



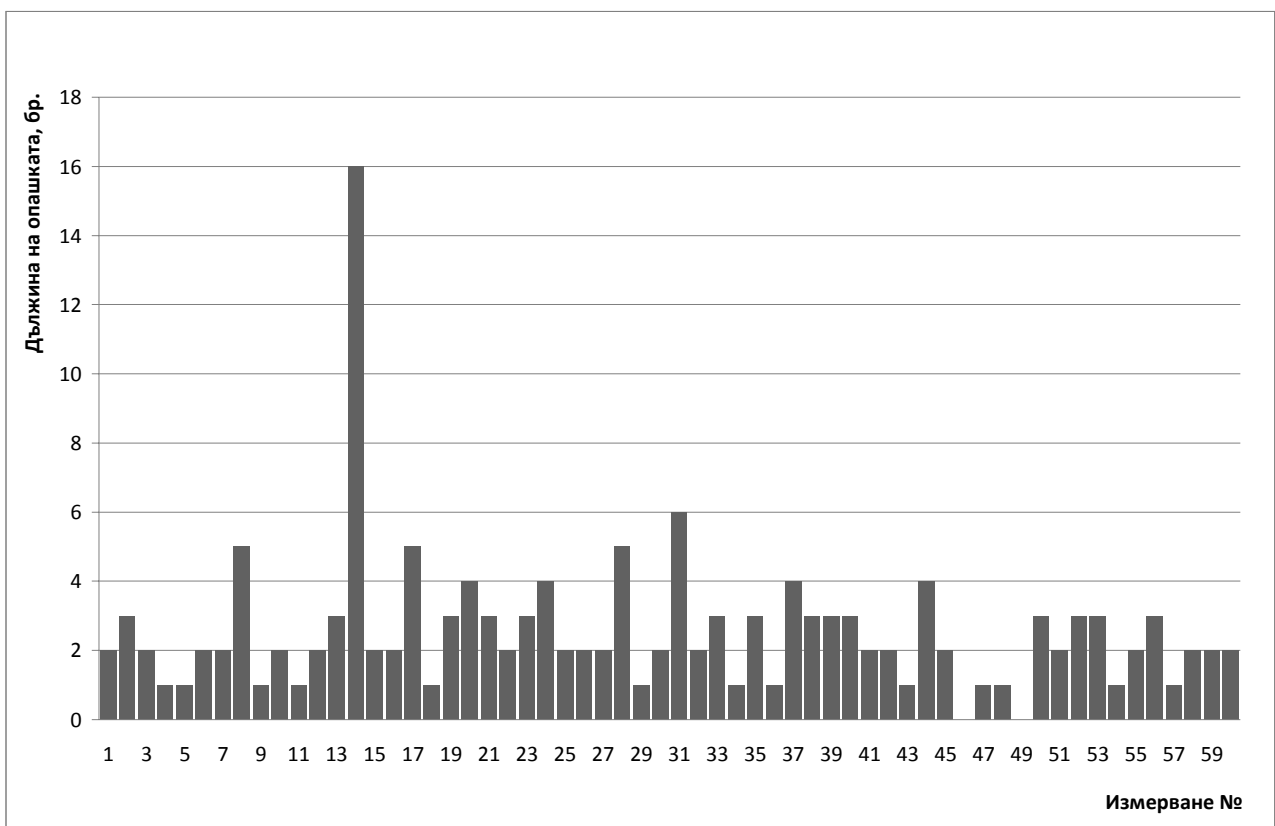
Фиг. ПVI.11 Дължини на опашката за поток 1 за вечерен пик след оптимизирането



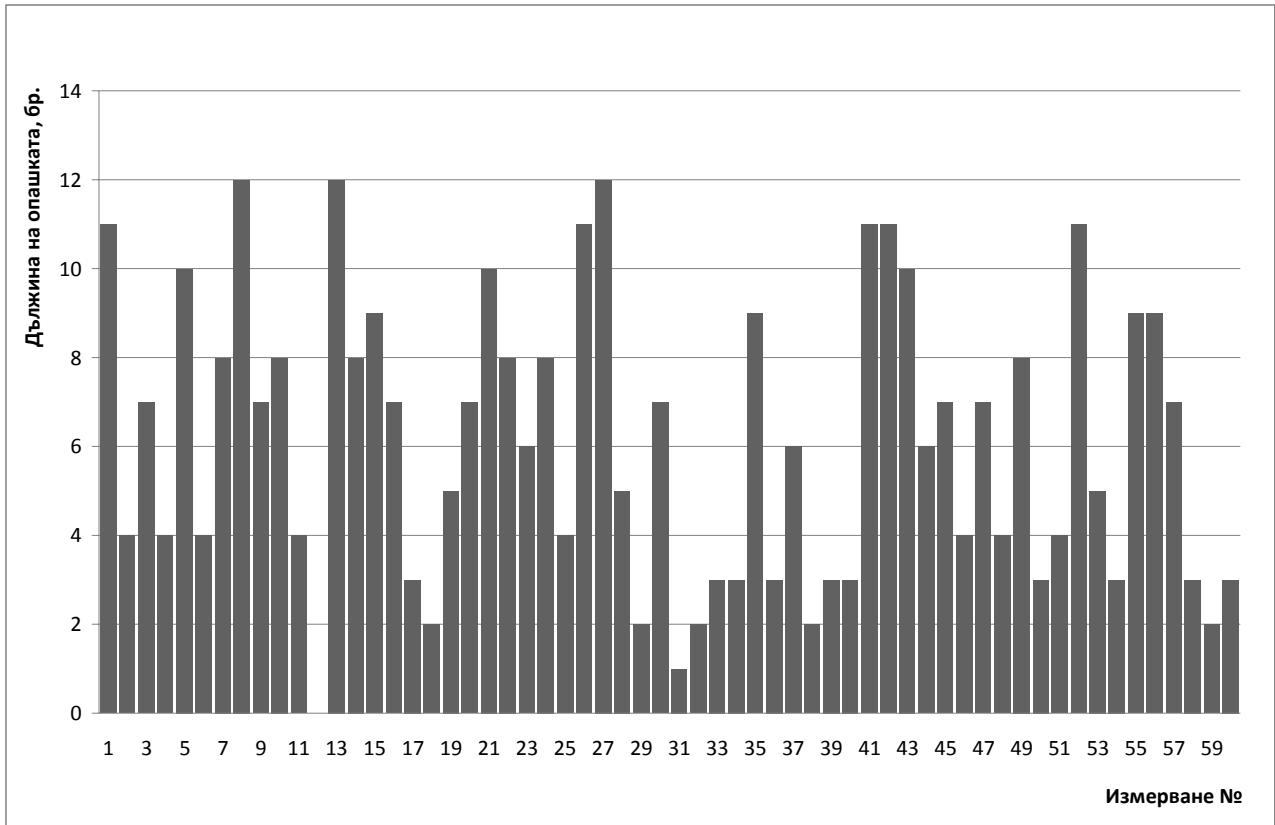
Фиг. ПVI.12 Дължини на опашката за поток 2 за вечерен пик след оптимизирането



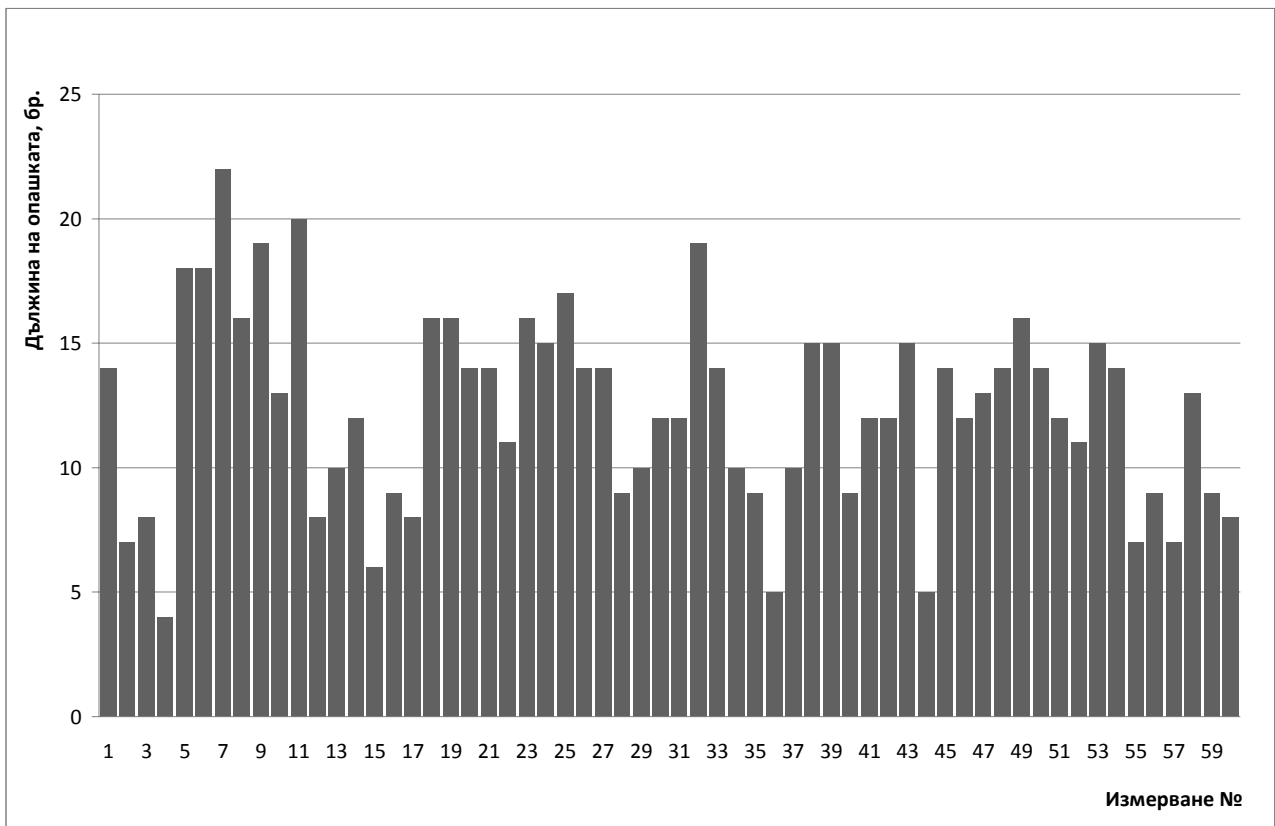
Фиг. ПVI.13 Дължини на опашката за поток 3 за вечерен пик след оптимизирането



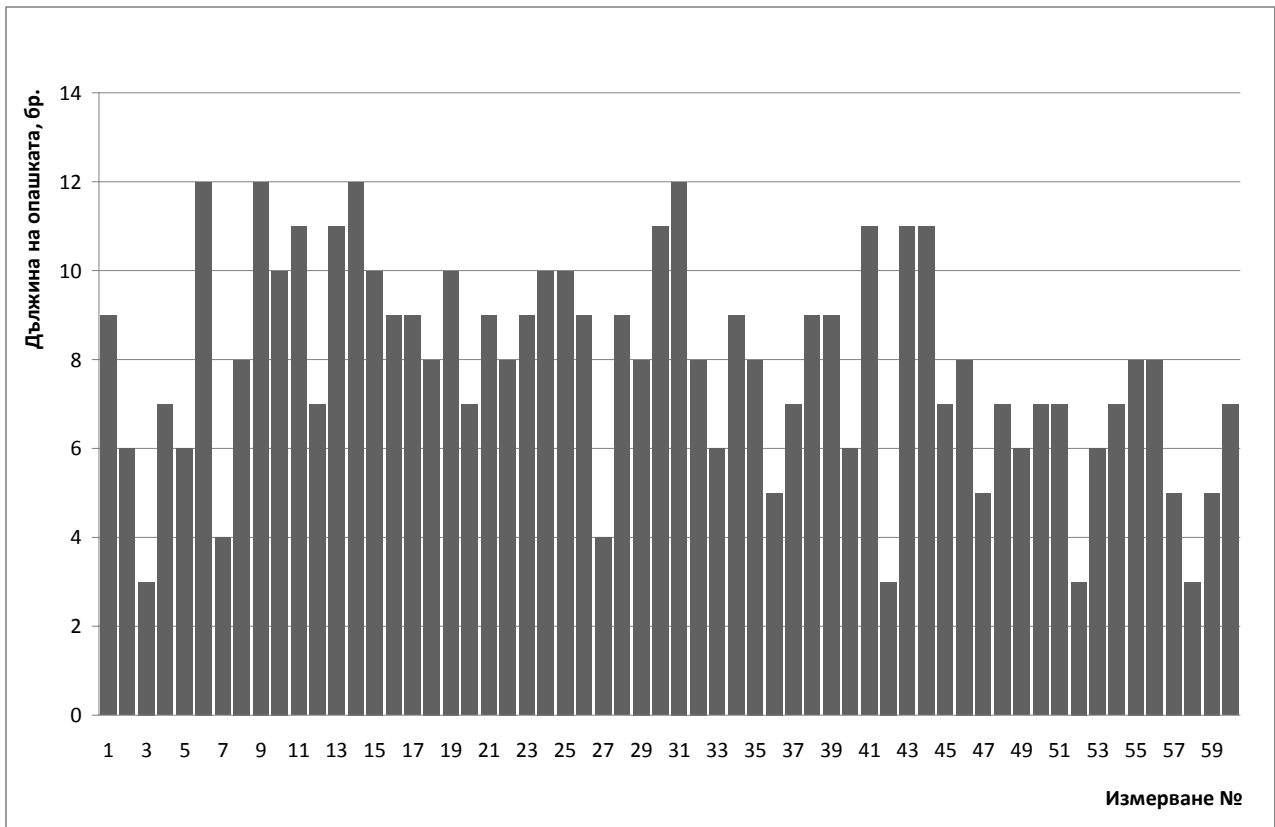
Фиг. ПVI.14 Дължини на опашката за поток 4 за вечерен пик след оптимизирането



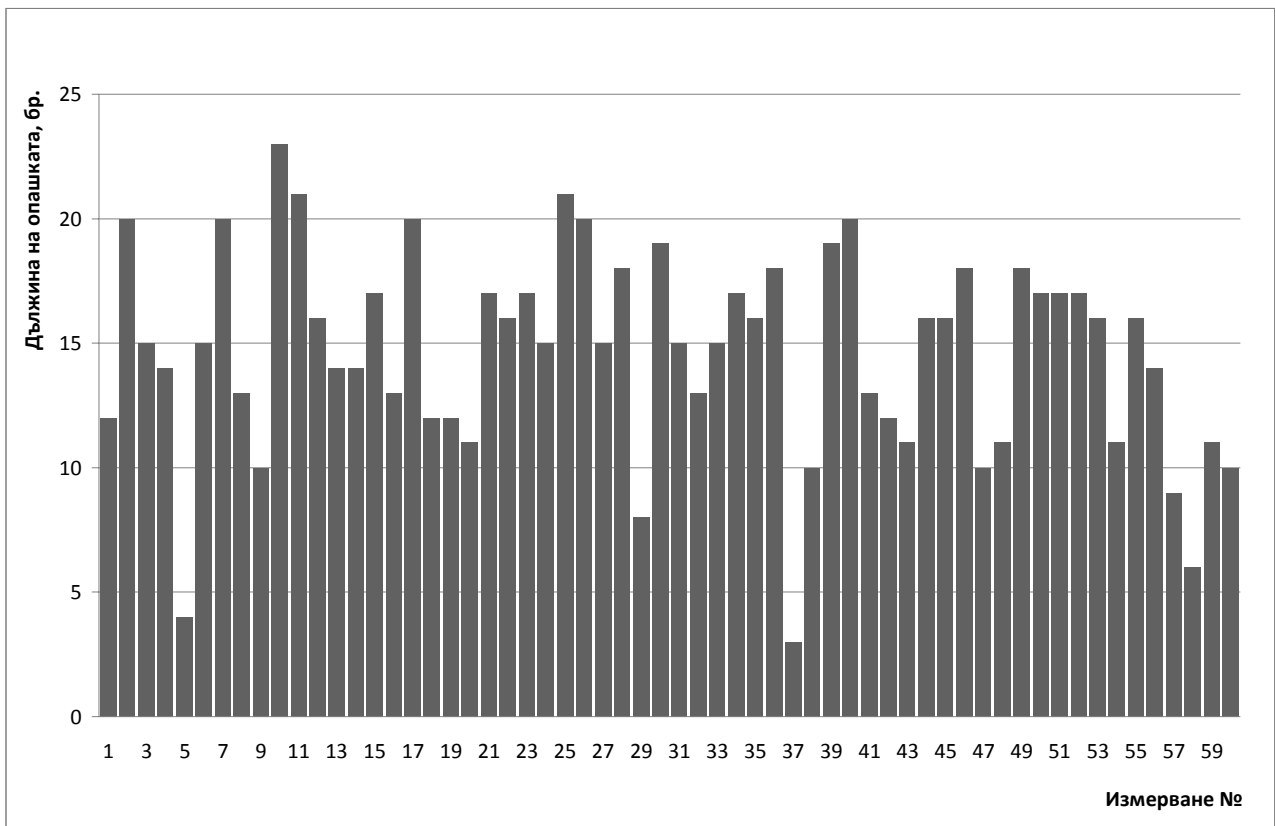
Фиг. ПVI.15 Дължини на опашката за поток 5 за вечерен пик след оптимизирането



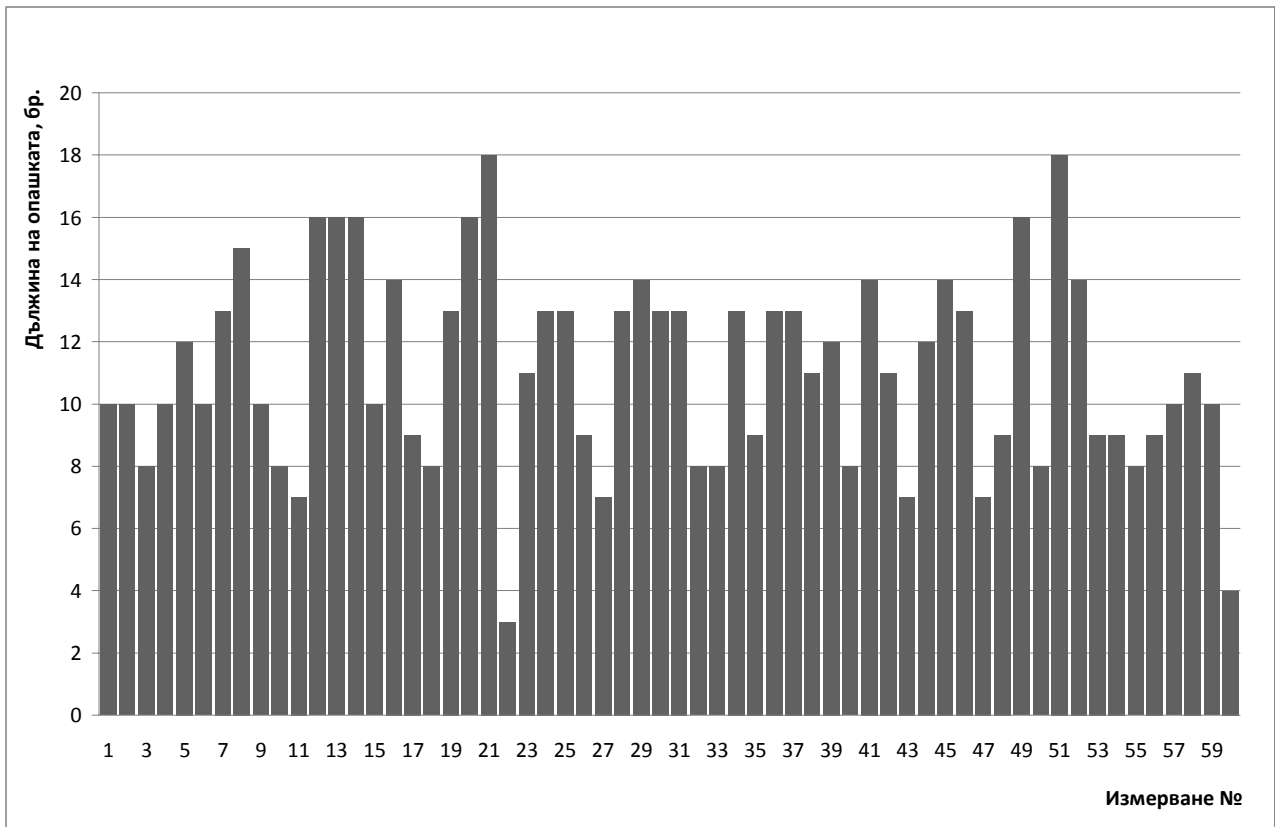
Фиг. ПVI.16 Дължини на опашката за поток 6 за вечерен пик след оптимизирането



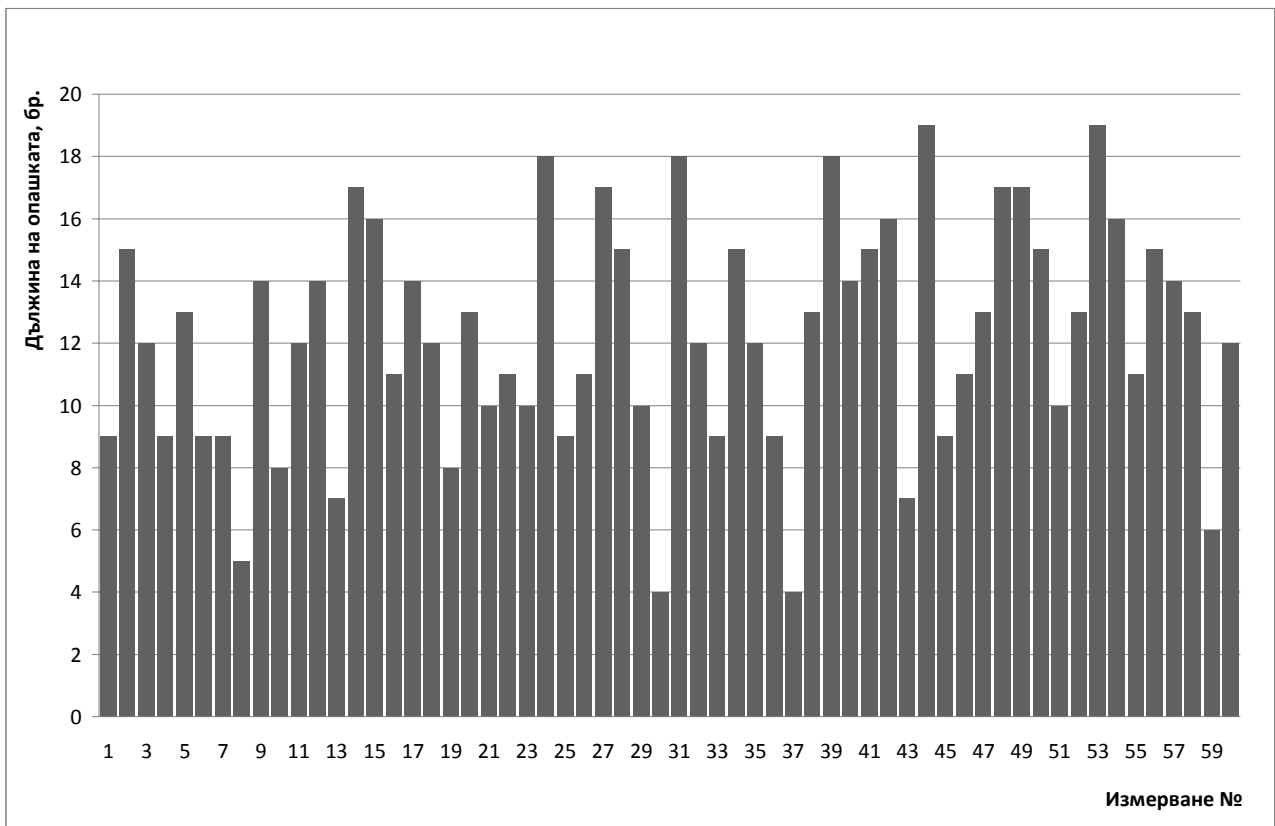
Фиг. ПVI.17 Дължини на опашката за поток 7 за вечерен пик след оптимизирането



Фиг. ПVI.18 Дължини на опашката за поток 8 за вечерен пик след оптимизирането



Фиг. ПVI.19 Дължини на опашката за поток 9 за вечерен пик след оптимизирането

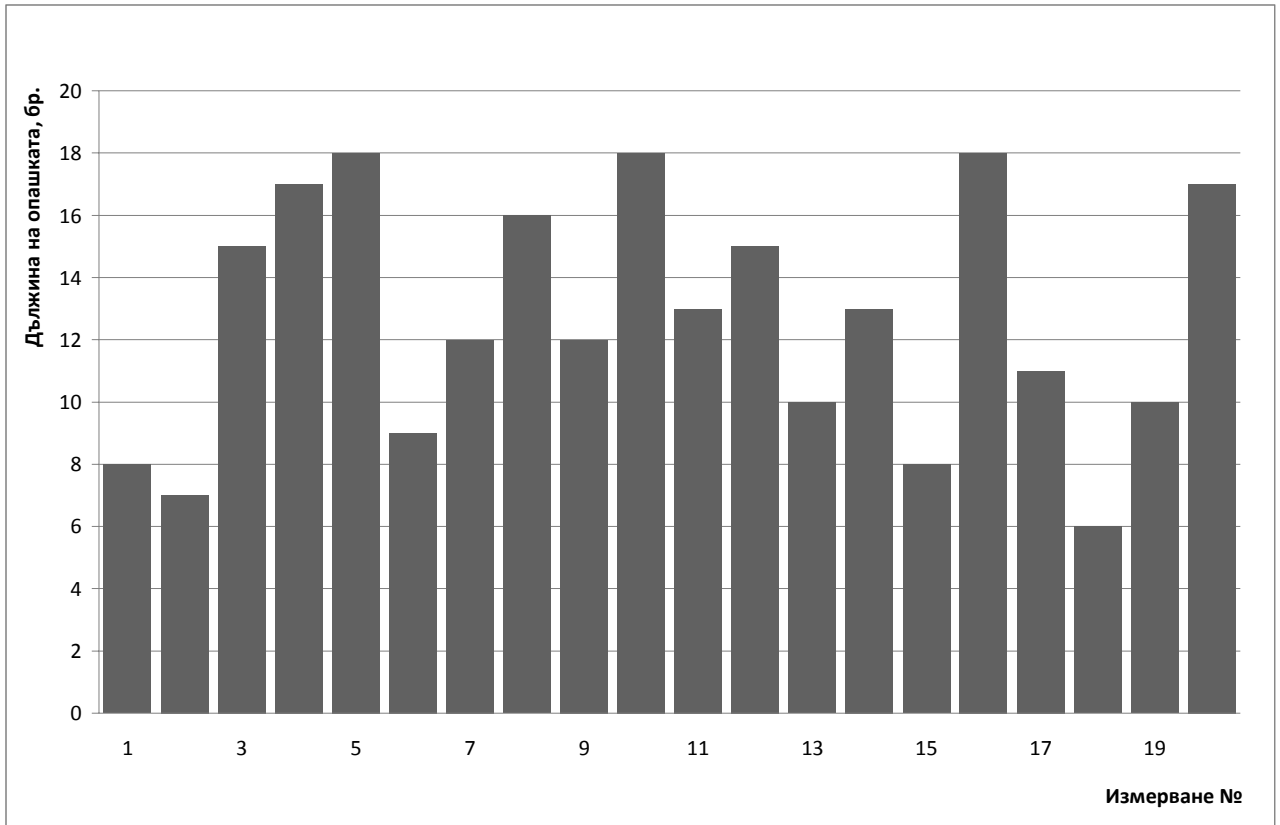


Фиг. ПVI.20 Дължини на опашката за поток 10 за вечерен пик след оптимизирането

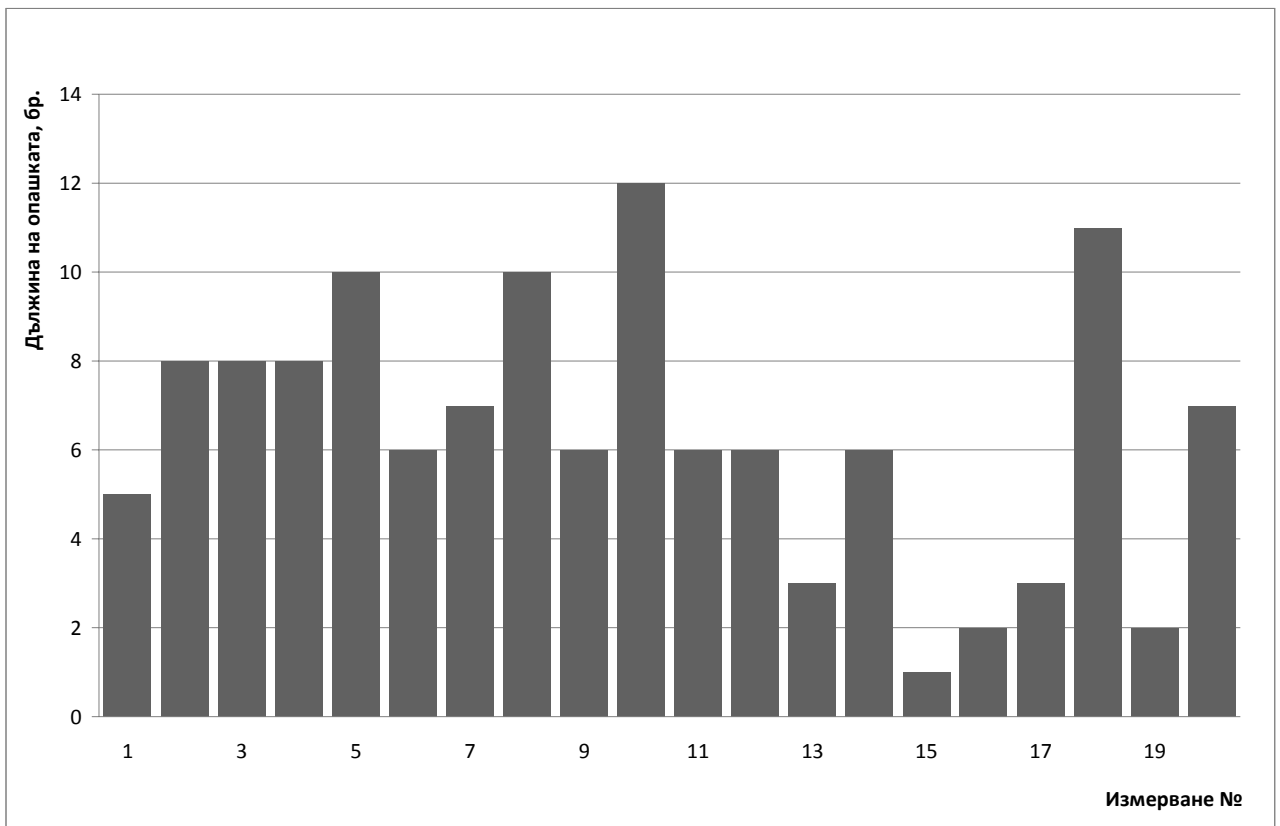
Таблица ПVI.3 Дължини на опашките по потоци за кръстовищата на бул. „Христофор Колумб” и бул. „кап. Димитър Списаревски”, и бул. „проф. Цветан Лазаров” за не пиков период след оптимизирането

Измерване №	Дължина на опашката, бр.									
	Поток 1	Поток 2	Поток 3	Поток 4	Поток 5	Поток 6	Поток 7	Поток 8	Поток 9	Поток 10
1	8	5	5	2	9	12	9	12	11	7
2	7	8	12	2	7	12	7	16	10	12
3	15	8	12	1	6	10	9	14	14	9
4	17	8	10	5	7	14	8	14	12	5
5	18	10	5	5	9	16	11	11	5	10
6	9	6	4	2	12	14	9	11	4	7
7	12	7	2	2	9	12	10	18	10	16
8	16	10	3	2	8	10	6	18	16	13
9	12	6	12	0	4	13	6	18	19	6
10	18	12	10	2	5	12	6	11	8	4
11	13	6	8	4	10	12	10	14	14	6
12	15	6	11	3	8	7	8	11	11	7
13	10	3	13	2	5	10	5	9	12	9
14	13	6	7	5	4	8	11	8	7	3
15	8	1	9	2	5	13	10	11	15	8
16	18	2	7	0	9	6	8	14	17	12
17	11	3	12	1	6	9	10	10	14	7
18	6	11	14	1	9	12	6	14	13	7
19	10	2	8	2	5	15	4	19	13	3
20	17	7	7	0	5	9	5	16	10	2
<b>Средна дължина на опашката</b>	<b>12,65</b>	<b>6,35</b>	<b>8,55</b>	<b>2,15</b>	<b>6,00</b>	<b>11,30</b>	<b>7,90</b>	<b>13,45</b>	<b>11,75</b>	<b>7,65</b>

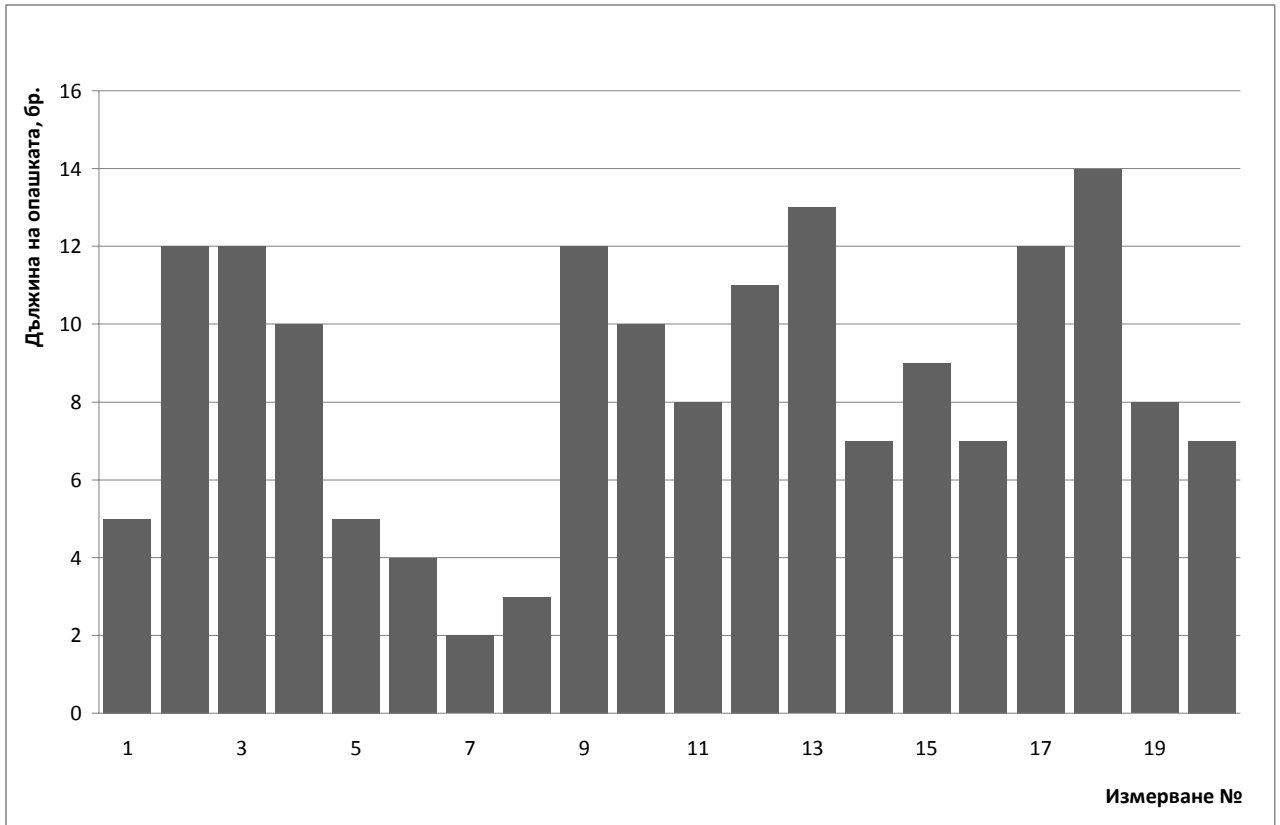




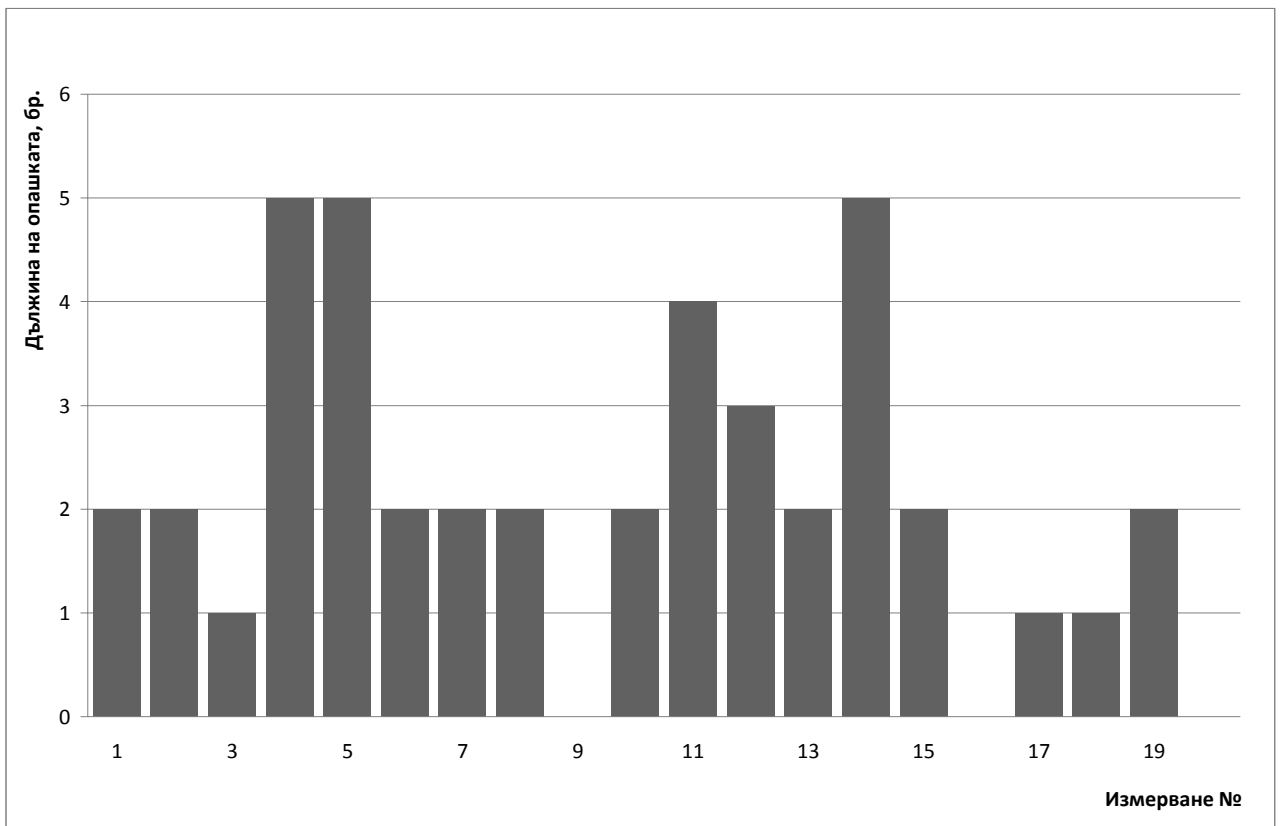
Фиг. ПVI.21 Дължини на опашката за поток 1 за не пиков период след оптимизирането



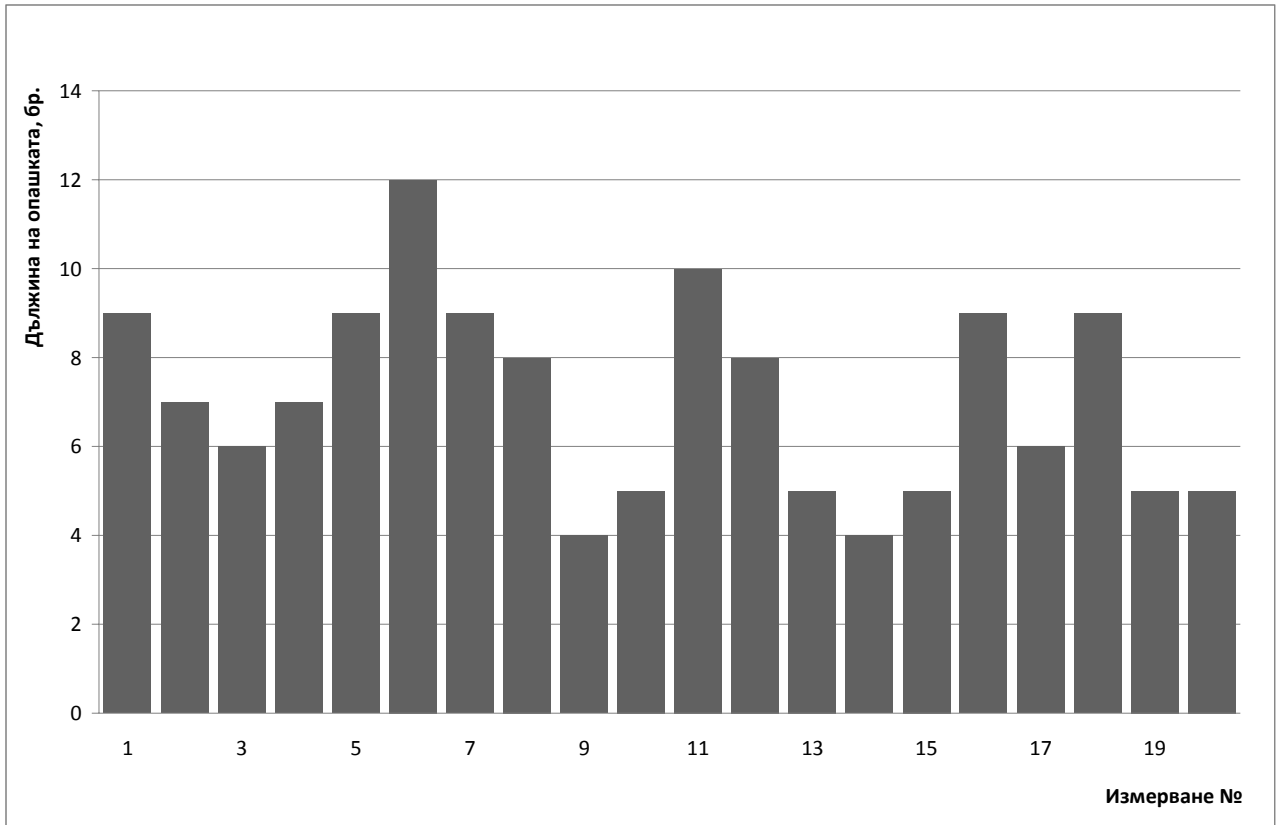
Фиг. ПVI.22 Дължини на опашката за поток 2 за не пиков период след оптимизирането



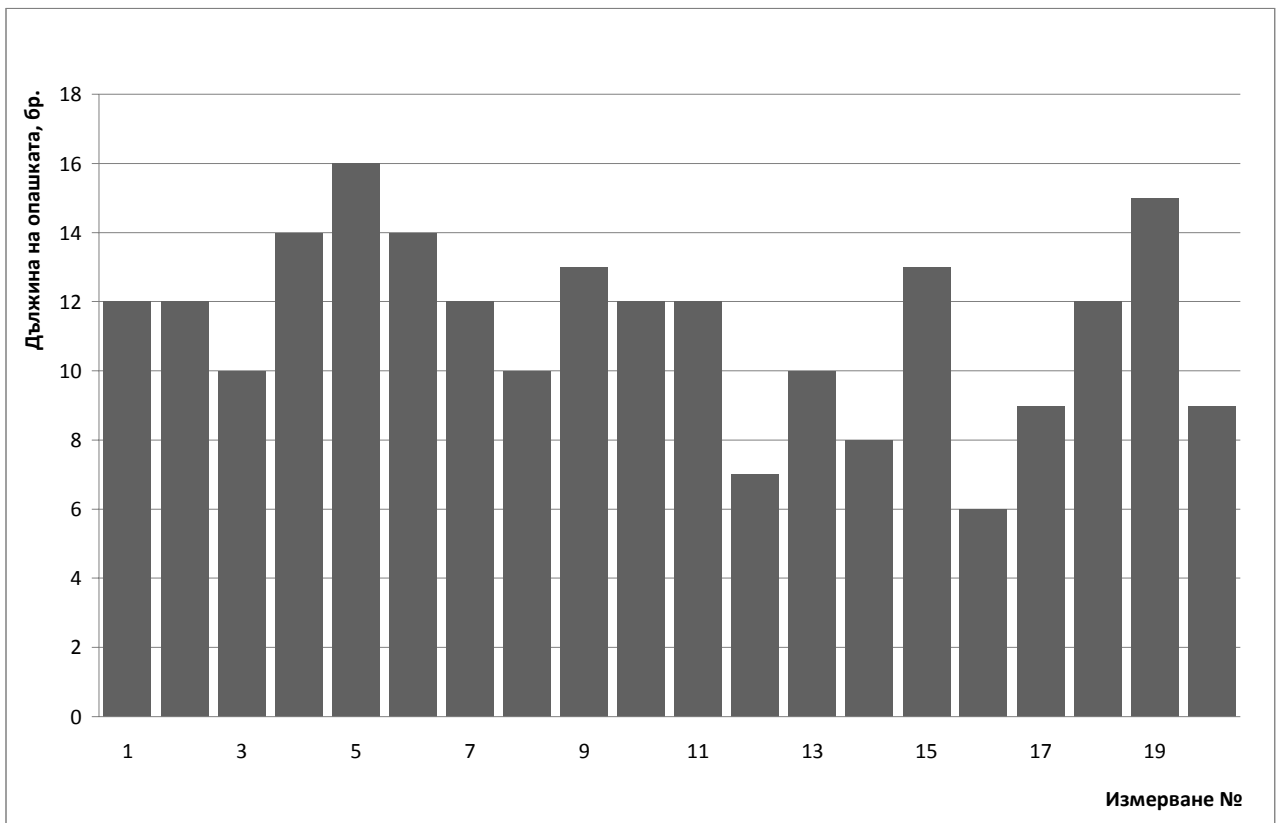
Фиг. ПVI.23 Дължини на опашката за поток 3 за не пиков период след оптимизирането



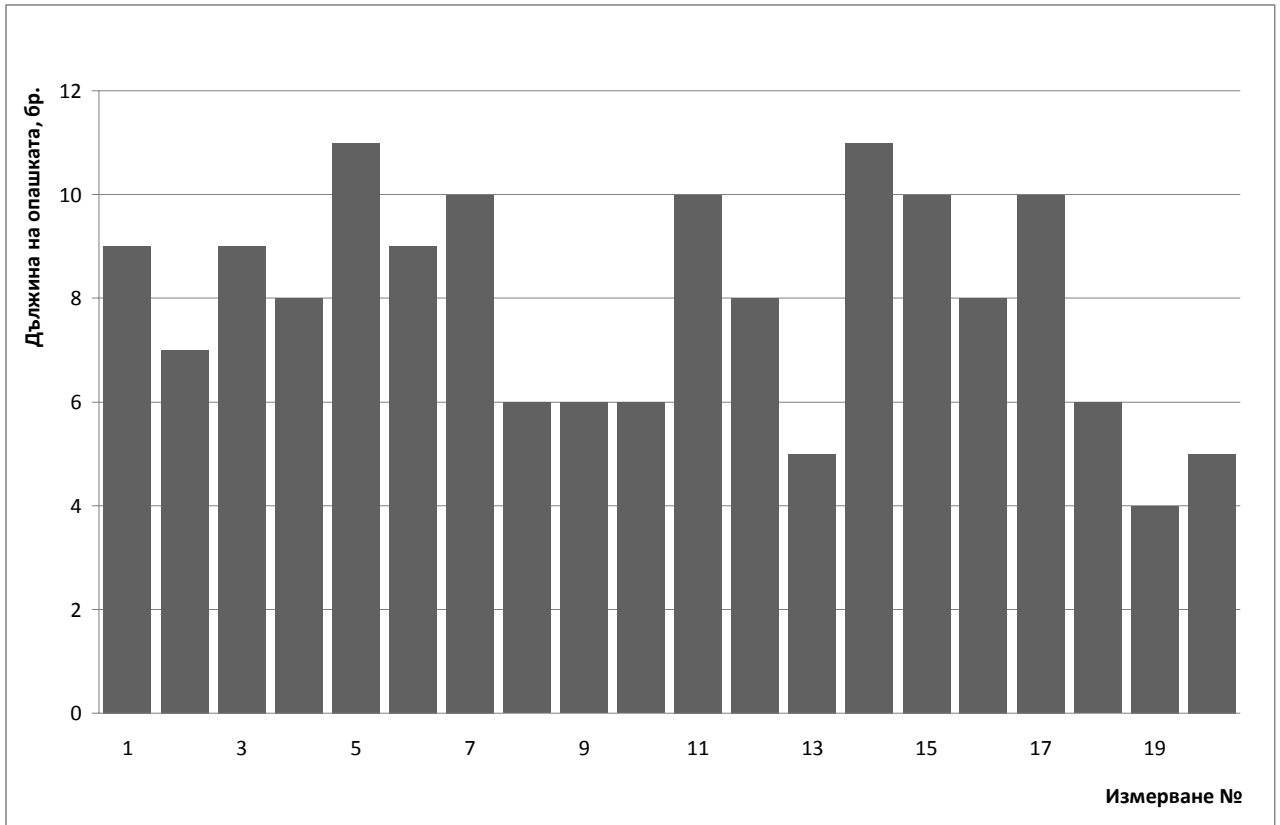
Фиг. ПVI.24 Дължини на опашката за поток 4 за не пиков период след оптимизирането



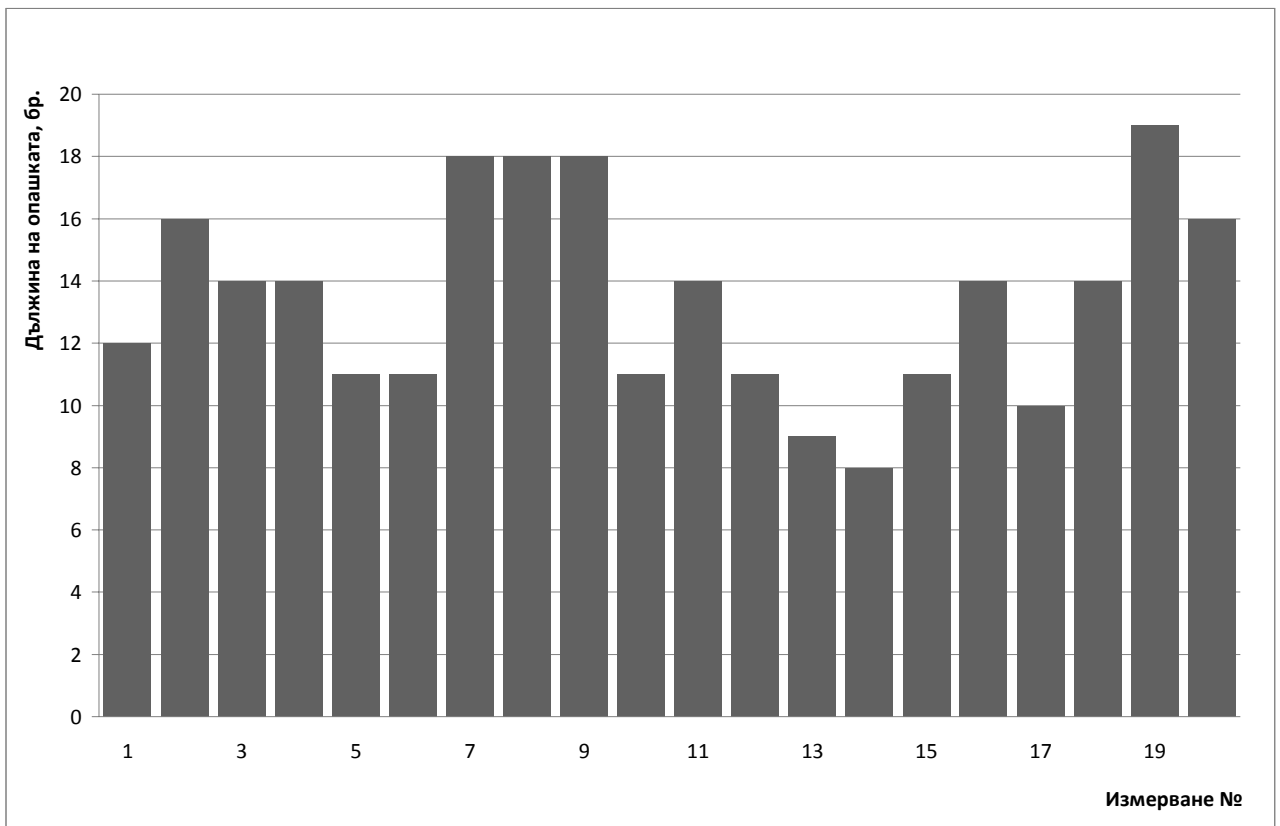
Фиг. ПVI.25 Дължини на опашката за поток 5 за не пиков период след оптимизирането



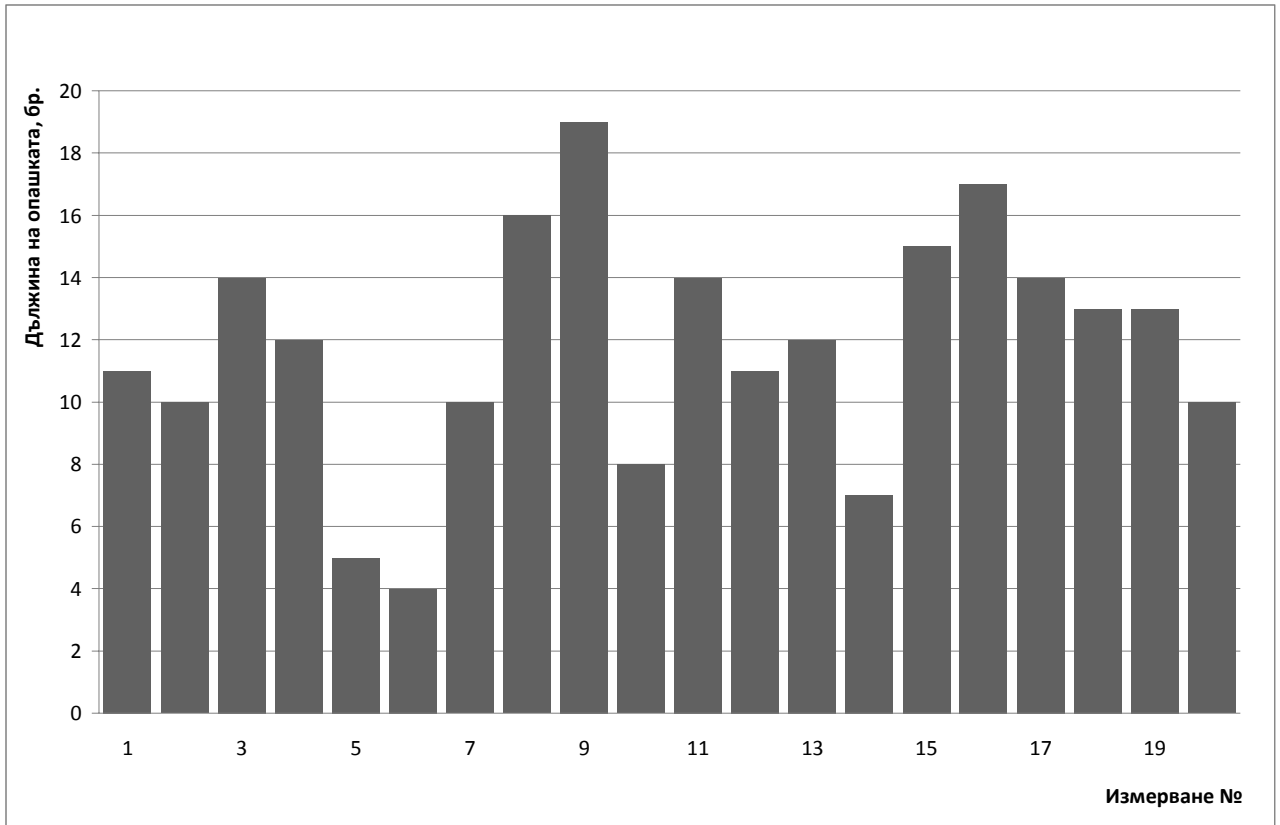
Фиг. ПVI.26 Дължини на опашката за поток 6 за не пиков период след оптимизирането



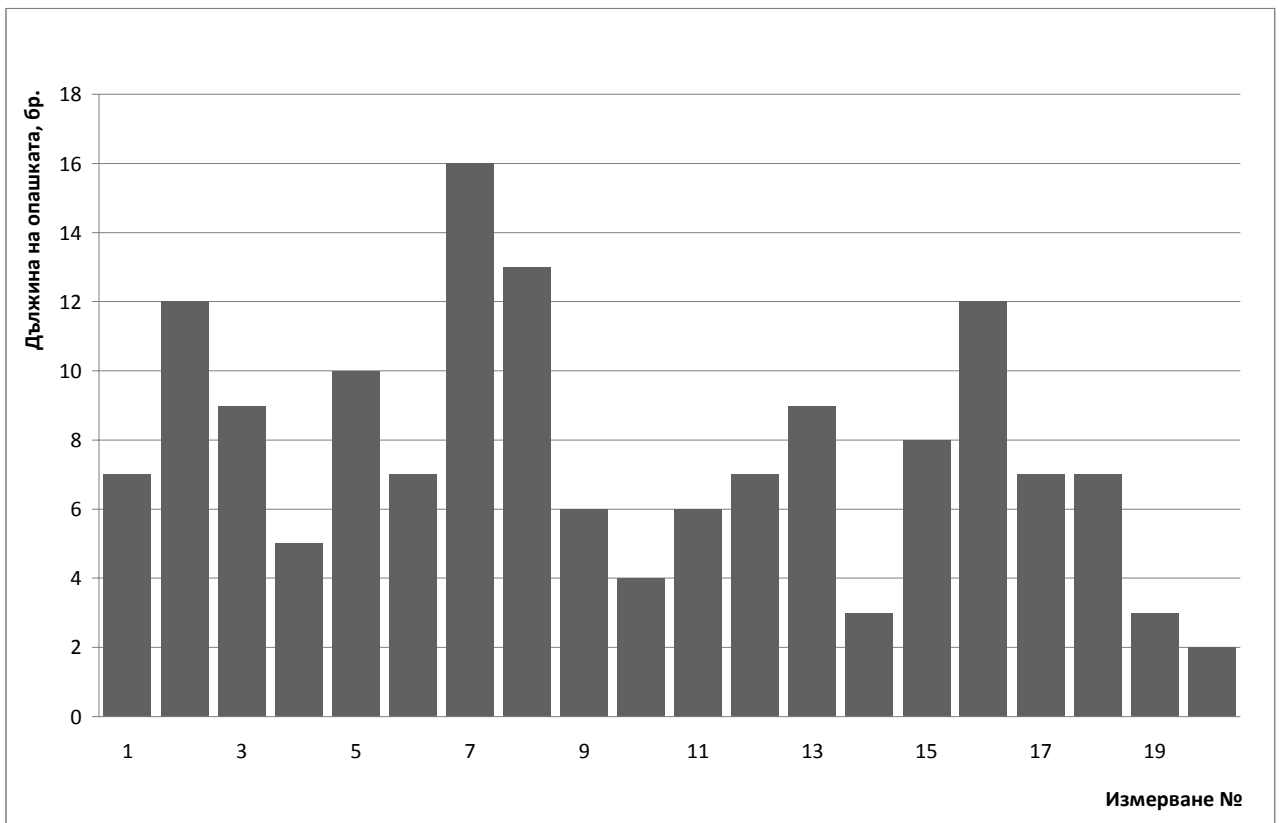
Фиг. ПVI.27 Дължини на опашката за поток 7 за не пиков период след оптимизирането



Фиг. ПVI.28 Дължини на опашката за поток 8 за не пиков период след оптимизирането



Фиг. ПVI.29 Дължини на опашката за поток 9 за не пиков период след оптимизирането



Фиг. ПVI.30 Дължини на опашката за поток 10 за не пиков период след оптимизирането



## ДЕКЛАРАЦИЯ

за оригиналност

по чл. 27, ал. 2 от ППЗРАСРБ

Долуподписаният Дурхан Назъмов Салиев, зачислен за докторант редовна форма на обучение със Заповед № 2200/15.07.2005 г. на Ректора на ТУ - София, в катедра „Двигатели, автомобилна техника и транспорт”, на Факултет по транспорта

### ДЕКЛАРИРАМ :

В разработената от мен и представена за разглеждане докторска теза със заглавие “Моделиране на пътнотранспортното движение при настъпване на аварийни ситуации”, с научен ръководител доц. д-р инж. Емил Младенов Маджарски, се съдържа следните приноси за оригиналност:

1. Създадени са математични изрази за определяне на времето за чакане на поток.
2. Разработени са алгоритми за оптимизиране продължителността на цикъла и фазите на светофарната уредба на кръстовище и продължителността на фазите при пропускане на транспортните потоци в две фази.
3. Получените резултати от оптимизирането доказва приложимостта на разработените алгоритми.

Известно ми е, че за деклариране на неверни данни в настоящата декларация нося отговорност по НК.

гр. София, 12.09.2012 г.

ДЕКЛАРАТОР: .....

(Дурхан Салиев)