



Российская академия транспорта
**ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**



Методические рекомендации
**ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ
ПЕШЕХОДНОЙ ФАЗЫ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ
ПЕРЕКРЕСТКАХ**

Н1

Москва 2021

УДК 656.13

Рецензенты

*Научный руководитель ФГБОУ «Научный центр по комплексным транспортным проблемам
Министерства транспорта Российской Федерации», д.т.н. Евсеев О.В.*

*Профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет», д.т.н. Михайлов А.Ю.*

Методические рекомендации по оценке целесообразности выделения пешеходной фазы на регулируемых перекрестках: Методические рекомендации/ Российская академия транспорта – Москва, 2021. – 59 с.

Настоящие Методические рекомендации предназначены для расчета и оценки суммарного времени задержек, возникающего у всех групп участников дорожного движения, следующих по регулируемым пересечениям проезжих частей при различных режимах организации светофорного регулирования (в т.ч. с выделением отдельной фазы для движения пешеходов). Методические рекомендации позволяют оценить существующее время задержек транспортных средств, а также изменение времени задержек транспортных средств и пешеходов после изменения режима светофорного регулирования. Методические рекомендации предназначены для специалистов в области градостроительства, специалистов, занимающихся транспортным планированием, организацией и регулированием дорожного движения в городах.

Методические рекомендации разработаны специалистами Института транспортного планирования Российской академии транспорта.

УДК 656.13

© Институт транспортного
планирования Российской академии
транспорта, 2021

© Якимов М.Р., 2021

Оглавление

Введение	5
Термины, определения и принятые обозначения	7
1 Основной подход к определению целесообразности выделения пешеходной фазы на перекрестках	17
2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы	19
2.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора	19
2.2 Расчет времени задержки, возникающей из-за необходимости пропуска пешеходов	21
2.3 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока.....	24
2.4 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств	25
2.5 Расчет времени задержки пешеходов	28
3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой	30
3.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора	30
3.2 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока.....	32
3.3 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств	33
3.4 Расчет времени задержки пешеходов	34
4 Примеры оценки целесообразности выделения пешеходной фазы на перекрестках	35
4.1 Пример №1	35

4.1.1 Исходные данные.....	35
4.1.2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы	36
4.1.3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой	42
4.2 Пример №2	46
4.2.1 Исходные данные.....	46
4.2.2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы	47
4.2.3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой	54

Введение

В апреле 2020 года вступили в силу изменения в главный нормативный документ по организации дорожного движения - ГОСТ Р 52289-2019 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств». Пункт 7.2.6 был дополнен требованием: « При светофорном регулировании в одной фазе светофорного цикла допускается движение пешеходов и поворачивающих транспортных средств (пересекающих направление движения пешеходов) при одновременном выполнении следующих условий:

- суммарная интенсивность транспортных средств, поворачивающих в одно направление, не более 120 ед./ч, а интенсивность движения пешеходов не более 600 пеш./ч;

- применение информационных световых секций по 7.4.12 для предупреждения водителей о возможном движении пешеходов по пешеходному переходу, на который он поворачивает, с режимом белолунного мигания с частотой по 7.5.3.».

В связи с указанными изменениями, специалистами Института транспортного планирования Российской академии транспорта были разработаны методические рекомендации по оценке целесообразности выделения пешеходной фазы на перекрестках.

Методические рекомендации позволяют оценить целесообразность выделения отдельной фазы, предназначенной для движения пешеходов на регулируемых перекрестках. Методические рекомендации позволяют оценить существующее время задержек транспортных средств при движении через перекресток, а также оценить изменение времени задержек транспортных средств после изменения режима светофорного регулирования. Методика расчета времени задержки транспортных средств и

пешеходов для различных вариантов светофорного регулирования реализована в виде файла надстройки в программе Microsoft Office Excel.

Термины, определения и принятые обозначения

Интенсивность движения – количество транспортных средств, прошедшее через рассматриваемое сечение участка улично-дорожной сети в одном направлении за единицу времени, ТС/час.

Пропускная способность – это расчетный показатель, определяющий максимальное количество транспортных средств, которое может проследовать через рассматриваемое сечение участка улично-дорожной сети в единицу времени в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодно-климатических условиях, ТС/час.

Пропускная способность одной полосы движения при заданной скорости движения рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{1000V}{\frac{V}{3.6} + \frac{V^2 K_3}{254(\varphi \pm f)} + l_3 + l_4}, \text{ТС / час} \quad (1)$$

где:

l_3 – дистанция между остановившимися автомобилями, м;

l_4 – длина автомобиля, м;

K_3 – коэффициент эффективности торможения;

f – уклон элемента профиля, на котором производится торможение;

φ – коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Если взять за среднюю скорость движения потока для крупного города $V = 30$ км/ч; длину автотранспортного средства в потоке $l_4 = 4,5$ м; продольный уклон $f = 0$ %; коэффициент сцепления колеса с дорогой $\varphi = 0,6$; коэффициент эффективности торможения, в соответствии с сухим

асфальтобетонным покрытием дороги, $K_3 = 1,4$; дистанция между остановившимися автомобилями $l_3 = 1,5$ м, то получим среднюю величину максимальной пропускной способности одной полосы 1327 автомобилей в час.

Пропускная способность в реальных дорожных и погодноклиматических условиях вычисляется по формуле:

$$P = B \cdot N, \quad (2)$$

Где B – итоговый коэффициент снижения пропускной способности.

Коэффициент понижения пропускной способности для крупного города равен 0,462, а средняя пропускная способность одной полосы движения – 613ТС/час [1].

Для оценки эффективности функционирования участка улично-дорожной сети на основе данных об интенсивности движения используют удельный показатель – *коэффициент использования пропускной способности*. Этот коэффициент рассчитывается по формуле:

$$X = \frac{Q}{P}, \quad (3)$$

где:

Q – интенсивность движения транспортных средств на рассматриваемом участке улично-дорожной сети, ТС/час;

P – пропускная способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети, ТС/час.

Далее описанные выше понятия будем использовать применительно к городскому перекрестку. Перекресток чаще всего имеет 3 или 4 въезда. Будем производить нумерацию въездов на перекресток по часовой стрелке.

Пропускная способность каждого въезда на перекресток определяется как сумма пропускных способностей всех полос движения данного въезда [2]. Если какая-то из полос движения на въезде предназначена для смешанного движения (движения в разных направлениях), то её пропускная способность, предназначенная для конкретного направления, вычисляется как отношение пропускной способности одной полосы движения к количеству направлений, разрешенных для движения с данной полосы. Так, например, если с одной полосы разрешено направление в двух направлениях, пропускная способность для каждого направления составит половину пропускной способности полосы движения;

Q_{ij} – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС (приведенных)/час;

i – индекс, соответствующий номеру направления въезда на перекресток, нумерация въездов осуществляется по часовой стрелке, начиная с верхнего;

j – индекс, соответствующий направлению движения на перекрестке:

$j = 1$ – движение прямо;

$j = 2$ – движение направо;

$j = 3$ – движение налево.

За расчетную единицу ТС будем считать легковой автомобиль. Маршрутные и грузовые транспортные средства будем приводить к легковым автомобилям, используя коэффициент приведения. Введем обозначение коэффициента приведения интенсивности движения различных ТС к легковому автомобилю – k .

Согласно «ОДМ 218.2.020-2012. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (издан на основании распоряжения Росавтодора

17.02.2012 N 49-р), при проведении расчетов для регулируемых пересечений следует принимать следующие значения коэффициента приведения интенсивности движения различных транспортных средств к легковому автомобилю k :

- Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2 т включительно – 1,2;
- Грузовые автомобили от 2 до 6 т – 1,5;
- Грузовые автомобили более 6 т – 1,6;
- Автопоезда – 2,2;
- Микроавтобус – 1,1;
- Автобусы малой вместимости – 1,4;
- Автобусы большой вместимости – 1,8;
- Сочлененные автобусы и троллейбусы – 2,4.

С учетом коэффициента приведения количество транспортных средств Q^j – в легковых автомобилях будет равна:

$$Q_i^j = (q_i^j)^u + k \cdot (q_i^j)^c + k \cdot (q_i^j)^a + k \cdot (q_i^j)^{авт} \quad (4)$$

где:

$(q_i^j)^u$ – интенсивность движения индивидуальных транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС/час;

$(q_i^j)^c$ – интенсивность движения грузовых транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС/час;

$(q_i^j)^a$ – интенсивность движения автопоездов, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС/час;

$(q_i^j)^{авт}$ – интенсивность движения подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС/час;

k – коэффициент приведения интенсивности движения различных транспортных средств к легковому автомобилю.

Для целей данной методики введем следующие обозначения. Определим основные типы задержек, которые возникают у участников дорожного движения при их движении через перекресток. Все возникающие у участников дорожного движения задержки для случая светофорного регулирования без выделенной пешеходной фазы обозначим следующим образом:

$A_{ij}^{эц}$ – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, которые возникают из-за ожидания разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$A_{ij}^{эц}$ – будет определять время задержки всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, которые возникают из-за ожидания разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$A^{эц}$ – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за ожидания

разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы и будет вычисляться по формуле:

$$A^{сум} = \sum_i A_i^{сум} = \sum_i \sum_j A_{ij}^{сум} \cdot Q_i^j \quad (5)$$

$B_{ij}^{сум}$ – будет определять время задержек транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, которые возникают из-за необходимости пропуска пешеходов при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$B_i^{сум}$ – будет определять время задержек всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, которые возникают из-за необходимости пропуска пешеходов при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$B^{сум}$ – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за необходимости пропуска пешеходов при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы и будет вычисляться по формуле:

$$B^{сум} = \sum_i B_i^{сум} = \sum_i B_{ij}^{сум} Q_i^j \quad (6)$$

$D_{ij}^{сум}$ – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, возникающее из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$D_i^{сущ}$ – будет определять время задержки всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, возникающее из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$D^{сущ}$ – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы и будет вычисляться по формуле:

$$D^{сущ} = \sum_i D_i^{сущ} = \sum_i \sum_j D_{ij}^{сущ} \cdot Q_i^j \quad (7)$$

$E_{ij}^{сущ}$ – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, возникающее из-за впередиидущих транспортных средств при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек. Параметр $E_i = 0$, если ширина полосы для движения транспортных средств, следующих с i -го направления въезда, более 5 м;

$E_i^{сущ}$ – будет определять время задержки всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, возникающее из-за впередиидущих транспортных средств, при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$E^{сущ}$ – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за впередиидущих транспортных средств, при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы и будет вычисляться по формуле:

$$E^{сущ} = \sum_i E_i^{сущ} = \sum_i E_{ij}^{сущ} \cdot Q_i^j \quad (8)$$

$E_i^{сущ}$ – будет определять время задержек пешеходов, пересекающих i -ое направление въезда, при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы, сек;

$F^{сущ}$ – будет определять суммарное время задержки всех пешеходов, следующих через перекресток, при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы и будет вычисляться по формуле:

$$F^{сущ} = \sum_i F_i^{сущ} \quad (9)$$

$$F_i^{сущ} = \sum_j F_{ij}^{сущ}$$

Задержки для случая светофорного регулирования с выделенной пешеходной фазой:

A_{ij}^{np} – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, которые возникают из-за ожидания разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

A_i^{np} – будет определять время всех задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, которые возникают из-за ожидания разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

A^{np} – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за ожидания

разрешающего сигнала светофора при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, и будет вычисляться по формуле:

$$A^{np} = \sum_i A_i^{np} = \sum_i \sum_j A_{ij}^{np} \cdot Q_i^j \quad (10)$$

D_{ij}^{np} – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, возникающее из-за необходимости пропускать встречный поток транспортных средств при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

D_i^{np} – будет определять время задержки всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, возникающее из-за необходимости пропускать встречный поток транспортных средств при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

D^{np} – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, и будет вычисляться по формуле:

$$D^{np} = \sum_i D_i^{np} = \sum_i \sum_j D_{ij}^{np} \cdot Q_i^j \quad (11)$$

E_{ij}^{np} – будет определять время задержки транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, возникающее из-за опережающих транспортных средств при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек. Параметр $E_i = 0$, если ширина полосы

для движения транспортных средств, следующих с i -го направления въезда, более 5 м;

E_i^{np} – будет определять время задержки всех транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда, возникающее из-за впередиидущих транспортных средств, при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

E^{np} – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за впередиидущих транспортных средств при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, и будет вычисляться по формуле:

$$E^{np} = \sum_i E_i^{np} = \sum_i E_{ij}^{np} \cdot Q_i^j \quad (12)$$

F_i^{np} – будет определять время задержек пешеходов, пересекающих i -ое направления въезда при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, сек;

F^{np} – будет определять суммарное время задержки всех пешеходов, следующих через перекресток при светофорном регулировании с выделенной пешеходной фазой, и будет вычисляться по формуле:

$$F^{np} = \sum_i F_i^{np} \quad (13)$$

1 Основной подход к определению целесообразности выделения пешеходной фазы на перекрестках

Данные методические указания призваны оценить целесообразность или нецелесообразность выделения отдельной фазы для движения пешеходов (далее – пешеходная фаза) на отдельном перекрестке, регулирование движения на котором осуществляется при помощи светофора. При этом мы будем исходить из следующих допущений:

— порядок следования отдельных фаз светофорного регулирования в общем цикле регулирования остается неизменным;

— интенсивность движения со всех направлений въезда на перекресток будет неизменной;

— распределение интенсивностей движения по различным маневрам (левого и правого поворотов, разворота и прямолинейного движения) будут оставаться в тех же пропорциях;

— транспортные средства движутся с одинаковым временным интервалом;

— пешеходы движутся с одинаковым временным интервалом.

Для оценки целесообразности изменения светофорного регулирования (в частности для выделения пешеходной фазы светофорного регулирования на перекрестке), необходимо вычислить изменение суммарного времени задержек транспортных средств и пешеходов ΔT для двух ситуаций:

1. когда пешеходная фаза светофорного регулирования не выделена – светофор без пешеходной фазы ($T^{суц}$),

2. когда пешеходная фаза светофорного регулирования выделена – светофор с пешеходной фазой ($T^{пф}$).

Изменение суммарного времени задержек всех транспортных средств и пешеходов вычисляется по формуле:

$$\Delta T = T^{сущ} - T^{np}, \quad (14)$$

где:

ΔT – изменение суммарного времени задержек транспортных средств и пешеходов при различных вариантах светофорного регулирования, сек;

T^{np} – суммарное время задержек всех транспортных средств и пешеходов для светофора с пешеходной фазой, сек;

$T^{сущ}$ – суммарное время задержек всех транспортных средств и пешеходов для светофора без пешеходной фазы, сек.

Время задержек транспортных средств и пешеходов для светофора без пешеходной фазы вычисляется по формуле:

$$T^{сущ} = A^{сущ} + B^{сущ} + D^{сущ} + E^{сущ} + F^{сущ} \quad (15)$$

Время задержек транспортных средств и пешеходов для светофора с пешеходной фазой вычисляется по формуле:

$$T^{np} = A^{np} + D^{np} + E^{np} + F^{np} \quad (16)$$

$$\Delta T \begin{cases} < 0 & \text{- выделение пешеходной фазы светофорного регулирования} \\ & \text{нецелесообразно} \\ > 0 & \text{- выделение пешеходной фазы светофорного регулирования} \\ & \text{целесообразно} \\ = 0 & \text{- выделение пешеходной фазы светофорного регулирования} \\ & \text{целесообразно с точки зрения повышения безопасности движения} \\ & \text{пешеходов} \end{cases}$$

2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы

Задержка всех транспортных средств будет вычисляться по формуле:

$$T^{\text{сущ}} = A^{\text{сущ}} + B^{\text{сущ}} + D^{\text{сущ}} + E^{\text{сущ}} + F^{\text{сущ}} \quad (17)$$

где:

$A^{\text{сущ}}$ – время задержки транспортных средств, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, сек;

$B^{\text{сущ}}$ – время задержки транспортных средств, возникающее из-за необходимости пропуска пешеходов, сек;

$D^{\text{сущ}}$ – время задержки транспортных средств, возникающее из-за необходимости пропускать встречный поток транспортных средств, сек;

$E^{\text{сущ}}$ – время задержек транспортных средств, возникающее из-за впередиидущих транспортных средств, сек;

$F^{\text{сущ}}$ – время задержек пешеходов, сек.

Далее отдельно рассмотрим каждую из задержек и приведем формулы для вычисления значений задержек.

2.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

При ожидании разрешающего сигнала светофора водители испытывают самые продолжительные задержки в движении (по сравнению с другими препятствующими движению факторами).

$$A^{\text{сущ}} = \sum_i A_i^{\text{сущ}} \quad (18)$$

Среднее время задержки транспортных средств, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, будет вычисляться по формуле:

$$A_i^{сум} = \sum_j A_{ij}^{сум} \cdot Q_i^j \quad (19)$$

где:

$A_i^{сум}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке в j -ом направлении движения, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, сек;

Q_i^j – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС / час.

Среднее время задержки одного транспортного средства, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, будет вычисляться по формуле:

$$A_{ij}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g_i^j}{c} \right)}{1 - \left[\min(1, x_i^j) \frac{g_i^j}{c} \right]} \quad (20)$$

где:

c – время цикла, сек;

g_i^j – время разрешающего сигнала светофора для транспортных средств, движущихся с i -ого въезда в j -ом направлении движения, сек;

x_i^j – коэффициент использования пропускной способности i -ого въезда для транспортных средств, движущихся в j -ом направлении движения, ТС / час.

2.2 Расчет времени задержки, возникающей из-за необходимости пропуска пешеходов

Задержки транспортных средств, возникающие из-за необходимости пропуска пешеходов, возникают у транспортных средств, осуществляющих поворот направо или налево. Так, зачастую в светофорном регулировании поворот направо или налево транспортных средств и движение пешеходов осуществляется в одну фазу. В таких случаях для осуществления правого или левого поворота, согласно правилам дорожного движения, водителю необходимо уступить дорогу пешеходам, в результате чего и возникают описываемые задержки.

$$B^{суц} = \sum_i B_i^{суц} \quad (21)$$

Имеет смысл разделить расчет времени задержек транспортных средств, выполняющих поворот, на два слагаемых: поток транспортных средств, поворачивающих налево, и поток транспортных средств, поворачивающих направо.

Исходим из предположения, что пешеходы движутся с равным временным интервалом. Во время запрещающей фазы светофорного регулирования, предназначенной для пешеходов, они собираются в группу у края проезжей части и затем следуют одной группой через проезжую часть за время $\frac{S}{v_n}$. Далее пешеходы следуют с равным по времени интервалом.

Среднее время задержки, вызванное необходимостью пропуска пешеходов, для транспортных средств, следующих с i -го направления, будет вычисляться как сумма двух слагаемых:

$$B_i^{сущ} = B_{i2}^{сущ} Q_i^2 + B_{i3}^{сущ} Q_i^3 \quad (22)$$

где:

$B_{i2}^{сущ}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке во 2-ом направлении движения, вызванное необходимостью пропуска пешеходов, сек;

$B_{i3}^{сущ}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке в 3-ем направлении движения, вызванное необходимостью пропуска пешеходов, сек;

Q_i^2 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке во 2-ом направлении движения, ТС/час;

Q_i^3 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в 3-ем направлении движения, ТС/час.

Среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке во 2-ом направлении движения, вызванное необходимостью пропуска пешеходов, вычисляется по формуле:

$$B_{i2}^{сущ} = g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2}{3600}, 1 \right) \quad (23)$$

где:

g_n^i – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для движения пешеходов, пересекающих проезжую часть справа от i -го направления въезда, сек;

N_n^i – количество пешеходов за час, пересекающих проезжую часть справа от i -го направления въезда в обе стороны, чел;

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

S – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами справа от i -го направления въезда, м;

v_n – скорость движения пешеходов, м/с (рекомендуется принимать как 1,4 м/с).

Среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке в 3-ем направлении движения, вызванное необходимостью пропуска пешеходов, вычисляется по формуле:

$$B_{i3}^{сущ} = g_n^i - \min \left[g_n^i, \max \left(\frac{g_n^i N_n^i / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n^i / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n^i / 2}{3600}, 1 \right) \quad (24)$$

где:

g_n^i – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для пешеходов, пересекающих проезжую часть слева от i -го направления въезда, сек;

N_n^i – количество пешеходов за час, пересекающих проезжую часть справа от i -го направления въезда в обе стороны, чел;

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

S – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами слева от i -го направления въезда, м;

U_n – скорость движения пешеходов, м/с (рекомендуется принимать как 1,4 м/с).

2.3 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока

Для осуществления поворота налево, согласно правилам дорожного движения, водителю необходимо уступить дорогу встречному направлению. Время задержки, возникающее из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств, вычисляется по формуле:

$$D^{сущ} = \sum_i D_i^{сущ} \quad (25)$$

$$D_i^{сущ} = D_{i3}^{сущ} \cdot Q_i^3 \quad (26)$$

Здесь $D_{i3}^{сущ}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, которая вычисляется по формуле:

$$D_{i3}^{сущ} = \left[g_i - \min \left[g_i, \max \left(\frac{g_i Q_i^{сстп}}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q_i^{сстп}} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_i^{сстп} c}{3600}, 1 \right) \right] \quad (27)$$

где:

g – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для встречных транспортных средств, сек;

$Q_i^{встр}$ – интенсивность движения встречного направления для i -ого направления, ТС / час;

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

S – ширина проезжей части, м;

l – средняя скорость движения встречного потока транспортных средств, м/с (рекомендуется принимать как 6,9 м/с);

Q^3 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в 3-ем направлении движения, ТС / час.

2.4 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств

Задержки у транспортных средств, движущихся в прямом направлении, возникают из-за того, что впередиидущее транспортное средство становится препятствием для движения (стоит). В таких ситуациях могут оказаться транспортные средства, которые желают проехать перекресток в прямом направлении с полосы для смешанного движения, но не могут этого сделать из-за того, что транспортное средство, совершающее поворот, является препятствием для движения прямо. Ниже проиллюстрированы два варианта маневра транспортных средств, при которых они препятствуют движению транспортных средств, следующих за ними: поворот направо (I вариант, рисунок 1) или налево (II вариант, рисунок 1).

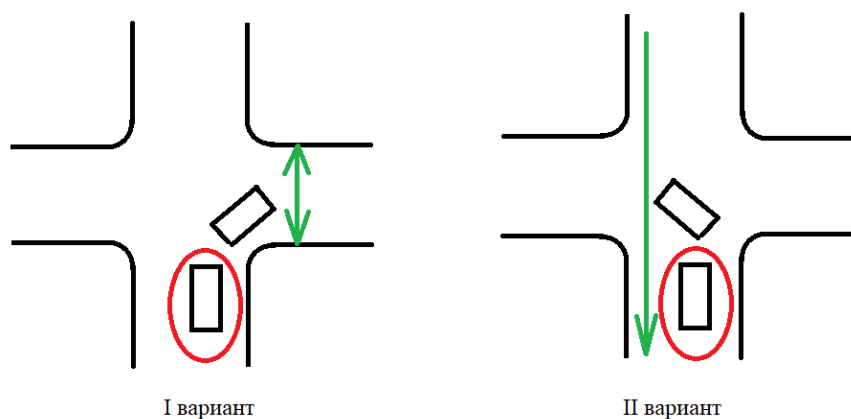


Рисунок 1 – Варианты возникновения задержек

Время задержек у транспортных средств, движущихся в прямом направлении $E^{сум}$, считается отдельно для каждой полосы с двумя и более разрешенными направлениями движения. При наличии двух подобных полос на исследуемом направлении $E^{сум}$ принимается как сумма задержек транспортных средств, следующих по двум этим полосам. $E^{сум}$ вычисляется только если ширина полосы в месте вынужденной остановки поворачивающего транспортного средства менее 5 м (рисунок 2), в противном случае $E^{сум} = 0$.

$E^{сум}$ – будет определять суммарное время задержки всех транспортных средств, следующих через перекресток, которые возникают из-за впередиидущих транспортных средств при светофорном регулировании без выделенной пешеходной фазы.

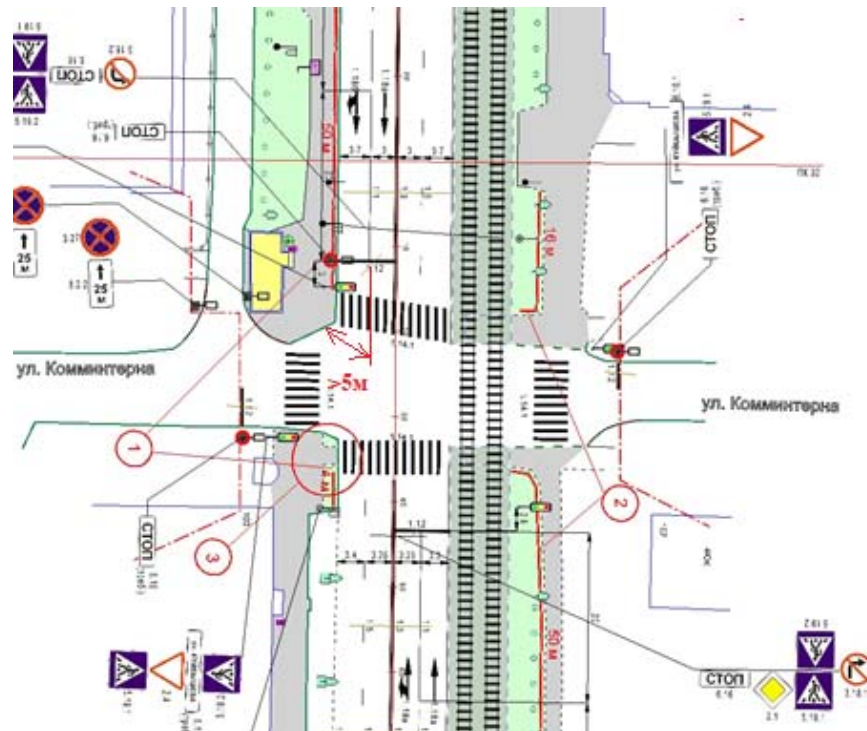


Рисунок 2 – Схема организации дорожного движения, при которой происходит возникновение задержек E

Время задержки транспортных средств, следующих в прямом направлении, вычисляется по формуле:

$$E^{сущ} = \sum_i E_i^{сущ} \quad (28)$$

$$E_i^{сущ} = B_{i2}^{сущ} q_i^2 + (B_{i3}^{сущ} + D_{i3}^{сущ}) q_i^3 \quad (29)$$

где:

$B_{i2}^{сущ}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке в 2-ом направлении движения, сек;

$B_{i3}^{сум}$ – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления въезда и следующего на перекрестке в 3-ем направлении движения, сек;

q_i^2 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в 1-ом направлении движения по полосе, предназначенной для движения прямо и поворота направо, ТС / час ;

q_i^3 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в 1-ом направлении движения по полосе, предназначенной для движения прямо и поворота налево, ТС / час .

q_i^2 и q_i^3 вычисляются следующим образом: весь поток распределяется по полосам, по которым разрешено движение только прямо в соответствии с максимальной загрузкой этих полос. Оставшиеся транспортные средства делятся в равных пропорциях по смешанным полосам. Среднее значение для пропускной способности полосы – 613 ТС / час [1].

2.5 Расчет времени задержки пешеходов

Задержки, возникающие при движении пешеходов, возникают только в одном случае, когда им горит запрещающий сигнал светофора.

Время задержки, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, вычисляется по формуле:

$$F^{сум} = \sum_i F_i^{сум} \quad (30)$$

$$F_i^{сум} = F_{i1}^{сум} N_1 \quad (31)$$

Здесь $F_{il}^{сущ}$ – среднее время задержки одного пешехода, которое вычисляется по формуле:

$$F_{il}^{сущ} = \frac{(c - g_i^{new})^2}{2c} \quad (32)$$

где:

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

g_i^{new} – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для пешеходов, пересекающих i -ое направление въезда, сек;

N_1 – количество пешеходов, пересекающих i -ое направления въезда, чел/час.

3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой

В отличие от существующего варианта в предлагаемом варианте не будет задержек, вызванных необходимостью пропуска пешеходов. Однако увеличится время задержки, вызванное ожиданием разрешающего сигнала светофора. Время задержки всех транспортных средств, следующих с i -го направления въезда, будет вычисляться по формуле:

$$T^{np} = A^{np} + D^{np} + E^{np} + F^{np} \quad (33)$$

где:

A^{np} – время задержки транспортных средств, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, сек;

D^{np} – время задержки транспортных средств, возникающее из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств, сек;

E^{np} – время задержек транспортных средств, возникающее из-за впередиидущих транспортных средств, сек;

F^{np} – время задержек пешеходов, сек.

Далее отдельно рассмотрим каждую из задержек и приведем формулы для вычисления значений времени задержек.

3.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

Среднее время задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, будет вычисляться по формуле:

$$A^{np} = \sum_i A_i^{np} \quad (34)$$

$$A_i^{np} = \sum_i A_{ij}^{np} \cdot Q_i^j \quad (35)$$

где:

A_{ij}^{np} – среднее время задержки одного транспортного средства, следующего с i -го направления въезда в j -ом направлении движения, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, сек;

Q_i^j – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления въезда и следующих на перекрестке в j -ом направлении движения, ТС / час.

Среднее время задержки одного транспортного средства, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, будет вычисляться по формуле:

$$A_{ij}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g_i^j}{c} \right)}{1 - \left[\min(1, x_i^j) \frac{g_i^j}{c} \right]} \quad (36)$$

где:

c – время цикла, сек;

g_i^j – время разрешающего сигнала светофора для транспортных средств, движущихся с i -ого въезда в j -ом направлении движения, сек;

x_i^j – коэффициент использования пропускной способности i -ого въезда для транспортных средств, движущихся в j -ом направлении движения, ТС / час.

3.2 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока

Для осуществления поворота налево, согласно правилам дорожного движения, водителю необходимо уступить дорогу встречному потоку (в случае, если встречное движение имеется) транспортных средств. Будем исходить из предположения, что транспортные средства движутся с одинаковым интервалом. Задержка, возникающая из-за необходимости пропуска встречного потока транспортных средств, вычисляется по формуле:

$$D^{np} = \sum_i D_i^{np} \quad (37)$$

$$D_i^{np} = D_{i3}^{np} Q_i^3 \quad (38)$$

Здесь D_{i3}^{np} – среднее время задержки одного транспортного средства, которое вычисляется по формуле:

$$D_{i3}^{np} = \left[g_i - \min \left[g_i, \max \left(\frac{g_i Q_i^{встр}}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q_i^{встр}} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_i^{встр} c}{3600}, 1 \right) \right] \quad (39)$$

где:

g – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для встречных транспортных средств, сек;

$Q_i^{встр}$ – интенсивность движения встречного направления для i -ого направления въезда ТС / час;

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

S – ширина проезжей части, м;

U – средняя скорость движения встречного потока транспортных средств, м/с (рекомендуется принимать как 6,9 м/с);

Q – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в 3 -ем направлении движения, ТС / час .

3.3 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств

Задержки у транспортных средств, движущихся в прямом направлении, возникают из-за того, что впередиидущее транспортное средство становится препятствием для движения (стоит). В таких ситуациях могут оказаться транспортные средства, которые желают проехать перекресток в прямом направлении, но не могут этого сделать из-за того, что путь перегорожен транспортными средствами, поворачивающими налево.

Задержка транспортных средств, следующих прямо, вычисляется по формуле:

$$E^{np} = \sum_i E_i^{np} \quad (40)$$

$$E_i^{np} = D_{i3}^{np} q_i^3 \quad (41)$$

где:

D_{i3}^{np} – среднее время задержки одного транспортного средства, въезжающего на перекресток с i -го направления движения и следующего на перекрестке в 3 -ем направлении движения;

q_i^3 – интенсивность движения транспортных средств, въезжающих на перекресток с i -го направления движения и следующих на перекрестке в l -ом направлении движения по полосе, предназначенной для движения прямо и поворота налево, ТС/час.

3.4 Расчет времени задержки пешеходов

Задержки, возникающие при движении пешеходов, возникают только в одном случае, когда им горит запрещающий сигнал светофора.

Время задержки, возникающее из-за ожидания разрешающего сигнала светофора, вычисляется по формуле:

$$F^{np} = \sum_i F_i^{np} \quad (42)$$

$$F_i^{np} = F_{i1}^{np} N_i \quad (43)$$

Здесь F_{i1}^{np} – среднее время задержки одного пешехода, которое вычисляется по формуле:

$$F_{i1}^{np} = \frac{(c - g_i^{neu})^2}{2c} \quad (44)$$

где:

c – общая продолжительность цикла светофорного регулирования, сек;

g_i^{neu} – продолжительность горения фазы светофорного регулирования, предназначенной для пешеходов, пересекающих i -ое направление въезда, сек;

N_i – количество пешеходов, пересекающих i -ое направление въезда, чел/час.

4 Примеры оценки целесообразности выделения пешеходной фазы на перекрестках

4.1 Пример №1

В качестве примера рассмотрим перекресток на пересечении ул. Куйбышева - ул. Екатерининская в городе Перми.

4.1.1 Исходные данные



Рисунок 3 – Интенсивности движения транспортных средств на пересечении ул. Куйбышева - ул. Екатерининская

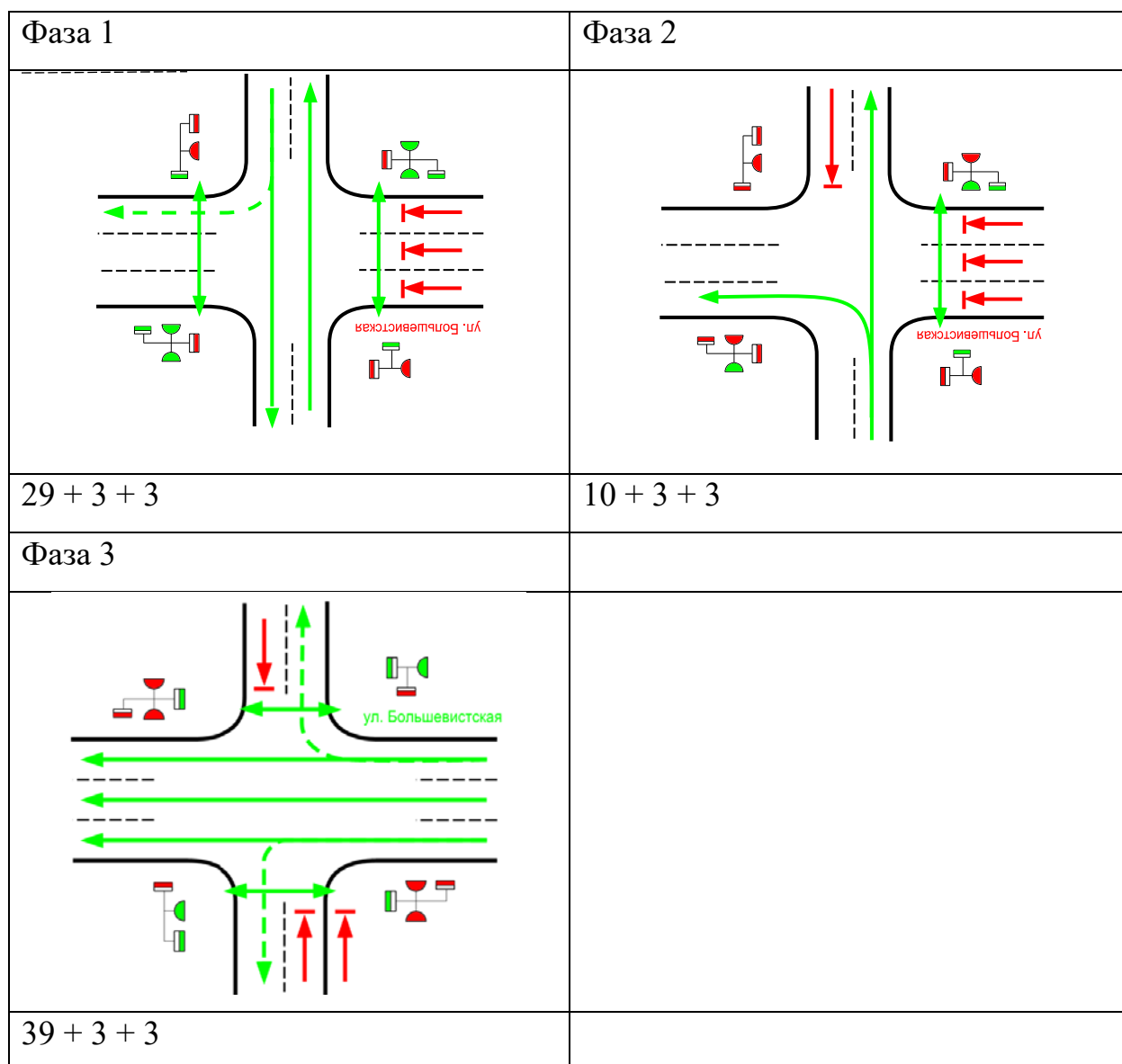


Рисунок 4 - Режим работы светофорного объекта (СО) на пересечении ул. Куйбышева - ул. Екатерининская

4.1.2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы

$$T^{\text{сущ}} = A^{\text{сущ}} + B^{\text{сущ}} + D^{\text{сущ}} + E^{\text{сущ}} + F^{\text{сущ}}$$

4.1.2.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

$$A^{сум} = \sum_i A_i^{сум}$$

$$A_i^{сум} = \sum_j A_{ij}^{сум} \cdot Q_i^j$$

$$A_{ij}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g_i^j}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x_i^j\right) \frac{g_i^j}{c}\right]}$$

$$A_{11}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{29}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{700}{926}\right) \frac{29}{96}\right]} = 43,4 \text{сек}$$

$$A_{12}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{29}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{150}{300}\right) \frac{29}{96}\right]} = 39,5 \text{сек}$$

$$A_1^{сум} = 43,4 \cdot 700 + 39,5 \cdot 150 + 48 \cdot 0 = 36270,1$$

$$A_{21}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{39}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{1640}{1226}\right) \frac{39}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{22}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{39}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{329}{300}\right) \frac{39}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{23}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^3}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^3\right) \frac{g^3}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{39}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{281}{300}\right) \frac{39}{96}\right]} = 46 \text{сек}$$

$$A_2^{сущ} = 48 \cdot 1640 + 48 \cdot 329 + 46 \cdot 281 = 107438$$

$$A_{31}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{45}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{644}{613}\right) \frac{45}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{33}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{45}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{446}{613}\right) \frac{45}{96}\right]} = 38,6 \text{сек}$$

$$A_3^{сущ} = 48 \cdot 644 + 38,6 \cdot 446 = 48142,2$$

$$A^{сущ} = 36270,1 + 107438 + 48142,2 = 191850,3$$

4.1.2.2 Расчет времени задержки, возникающей из-за необходимости пропуска пешеходов

$$B^{сущ} = \sum_i B_i^{сущ}$$

$$B_i^{сущ} = B_{i2}^{сущ} Q_i^2 + B_{i3}^{сущ} Q_i^3$$

$$B_{12}^{сущ} = g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] \\ + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) = 29 - \min \left[29, \max \left(\frac{29 \cdot 400}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{400} - \frac{10.5}{1.4}, 0 \right) \right] \\ + \frac{10.5}{1.4} \min \left(\frac{400 \cdot 96}{3600}, 1 \right) = 35 \text{сек}$$

$$B_1^{сущ} = 35 \cdot 105 = 5250$$

$$B_{12}^{сущ} = g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] \\ + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) = 29 - \min \left[29, \max \left(\frac{29 \cdot 400}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{400} - \frac{10.5}{1.4}, 0 \right) \right] \\ + \frac{10.5}{1.4} \min \left(\frac{400 \cdot 96}{3600}, 1 \right) = 35 \text{сек}$$

$$B_{23}^{сущ} = g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] \\ + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) = 39 - \min \left[39, \max \left(\frac{39 \cdot 450}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{450} - \frac{10.5}{1.4}, 0 \right) \right] \\ + \frac{10.5}{1.4} \min \left(\frac{450 \cdot 96}{3600}, 1 \right) = 46 \text{сек}$$

$$B_2^{сущ} = 42,8 \cdot 329 + 46 \cdot 281 = 26990,8$$

$$B_{33}^{сущ} = g_l^n - \min \left[g_l^n, \max \left(\frac{g_l^n N_l / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_l / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] \\ + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_l / 2}{3600}, 1 \right) = 45 - \min \left[45, \max \left(\frac{45 \cdot 400}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{400} - \frac{10,5}{1,4}, 0 \right) \right] \\ + \frac{10,5}{1,4} \min \left(\frac{400 \cdot 96}{3600}, 1 \right) = 51 \text{сек}$$

$$B_3^{сущ} = 51 \cdot 446 = 22746$$

$$B^{сущ} = 5250 + 26990,8 + 22746 = 54986,8$$

4.1.2.3 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока

$$D^{сущ} = \sum_i D_i^{сущ}$$

$$D_i^{сущ} = D_{i3}^{сущ} Q_i^3$$

$$D_{33}^{сущ} = \left[g - \min \left[g, \max \left(\frac{gQ}{3600} - \frac{3600}{c} \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] \right] \\ + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q}{3600}, 1 \right) = \left[29 - \min \left[29, \max \left(\frac{29 \cdot 700}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{700} - \frac{10,5}{9,6}, 0 \right) \right] \right] \\ + \frac{10,5}{9,6} \min \left(\frac{700 \cdot 96}{3600}, 1 \right) = 42,9 \text{сек}$$

$$D_3^{сущ} = 42,9 \cdot 446 = 19133,7$$

$$D^{сущ} = 19133,7$$

1.2.4 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств

$$E^{сущ} = \sum_i E_i^{сущ}$$

$$E_i^{сущ} = B_{i2}^{сущ} q_i^2 + (B_{i3}^{сущ} + D_{i3}^{сущ}) q_i^3$$

$$E_2 = B_{22}^{сущ} q_2^2 + B_{23}^{сущ} q_2^3 = 42,8 \cdot 205 + 46 \cdot 205 = 18197,4$$

$$E^{сущ} = 18197,4$$

4.1.2.5 Расчет времени задержки пешеходов

$$F^{сущ} = \sum_i F_i^{сущ}$$

$$F_i^{сущ} = F_{i1}^{сущ} N_i$$

$$F_{11}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 19)^2}{2 \cdot 96} = 30,9 \text{сек}$$

$$F_1^{сущ} = 30,9 \cdot 320 = 9881,7$$

$$F_{21}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 45)^2}{2 \cdot 96} = 13,5 \text{сек}$$

$$F_2^{сущ} = 13,5 \cdot 400 = 5418,8$$

$$F_{31}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 45)^2}{2 \cdot 96} = 13,5 \text{сек}$$

$$F_3^{сущ} = 13,5 \cdot 450 = 6096,1$$

$$F^{сущ} = 9881,7 + 5418,8 + 6096,1 = 21396,6$$

$$\begin{aligned} T^{суц} &= A^{суц} + B^{суц} + D^{суц} + E^{суц} + F^{суц} \\ &= 191850,3 + 54986,8 + 19133,7 + 18197,4 + 21396,6 = 305564,8 \end{aligned}$$

4.1.3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой

$$T^{np} = A^{np} + D^{np} + E^{np} + F^{np}$$

4.1.3.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

$$A^{np} = \sum_i A_i^{np}$$

$$A^{np} = \sum_j A_{ij}^{np} \cdot Q_i^j$$

$$A_{11}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{23}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{700}{926}\right) \frac{23}{96}\right]} = 44,5 \text{сек}$$

$$A_{12}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{23}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{150}{300}\right) \frac{23}{96}\right]} = 41,5 \text{сек}$$

$$A_1^{np} = 44,5 \cdot 700 + 41,5 \cdot 150 = 37391,3$$

$$A_{21}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{30}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{329}{300}\right) \frac{30}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{22}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{30}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{329}{300}\right) \frac{30}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{23}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^3}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^3\right) \frac{g^3}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{30}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{281}{300}\right) \frac{30}{96}\right]} = 46,7 \text{сек}$$

$$A_2^{np} = 48 \cdot 1640 + 48 \cdot 329 + 46,7 \cdot 281 = 107622,6$$

$$A_{31}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{35}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{644}{613}\right) \frac{35}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_{33}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 96 \left(1 - \frac{35}{96}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{446}{613}\right) \frac{35}{96}\right]} = 48 \text{сек}$$

$$A_3^{np} = 48 \cdot 644 + 48 \cdot 446 = 52320$$

$$A^{np} = 37391,3 + 107622,6 + 52320 = 197333,9$$

4.1.3.2 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока

$$D^{np} = \sum_j D_i^{np}$$

$$D_i^{np} = D_{i3}^{np} Q_i^3$$

$$D_{33}^{np} = \left[g - \min \left[g, \max \left(\frac{gQ}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] \right. \\ \left. \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_c}{3600}, 1 \right) \right] = \left[23 - \min \left[23, \max \left(\frac{23 \cdot 700}{3600} - \frac{3600}{96}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{700} - \frac{10,5}{6,9}, 0 \right) \right] \right] \\ + \frac{10,5}{6,9} \min \left(\frac{700 \cdot 96}{3600}, 1 \right) \right] = 20,9 \text{сек}$$

$$D_{33}^{np} = 20,9 \cdot 446 = 9321,7$$

$$D^{np} = 9321,7$$

4.1.3.3 Расчет времени задержки пешеходов

$$F^{np} = \sum_i F_i^{np}$$

$$F_i^{np} = F_{i1}^{np} N_i$$

$$F_{11}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 19)^2}{2 \cdot 96} = 30,9 \text{сек}$$

$$F_1^{np} = 30,9 \cdot 320 = 9881,7$$

$$F_{21}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 19)^2}{2 \cdot 96} = 30,9 \text{сек}$$

$$F_2^{np} = 30,9 \cdot 400 = 12352,1$$

$$F_{31}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(96 - 19)^2}{2 \cdot 96} = 30,9 \text{сек}$$

$$F_3^{np} = 30,9 \cdot 450 = 13896,1$$

$$F^{np} = 9881,7 + 12352,1 + 13896,1 = 36129,9$$

$$T^{np} = A^{np} + D^{np} + E^{np} + F^{np} = 197333,9 + 9321,7 + 36129,9 = 242785,5$$

$$\Delta T = T^{сущ} - T^{np} = 305564,8 - 242785,5 = 62779,3 > 0$$

Таким образом, выделение пешеходной фазы светофорного регулирования целесообразно.

4.2 Пример №2

В качестве еще одного примера рассмотрим перекресток на пересечении ул. Куйбышева - ул. Коминтерна в городе Перми.

4.2.1 Исходные данные

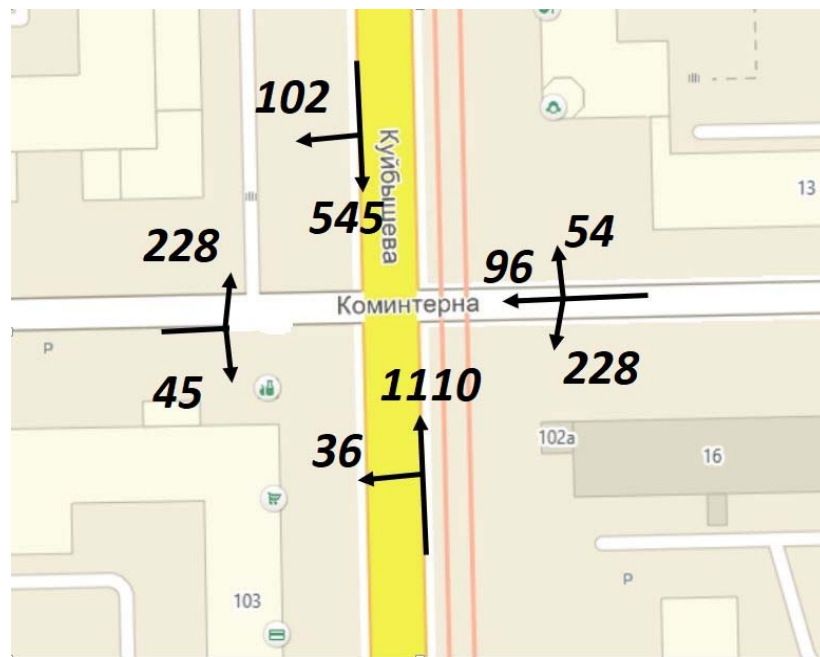


Рисунок 5 – Интенсивности движения транспортных средств на пересечении ул. Куйбышева - ул. Коминтерна

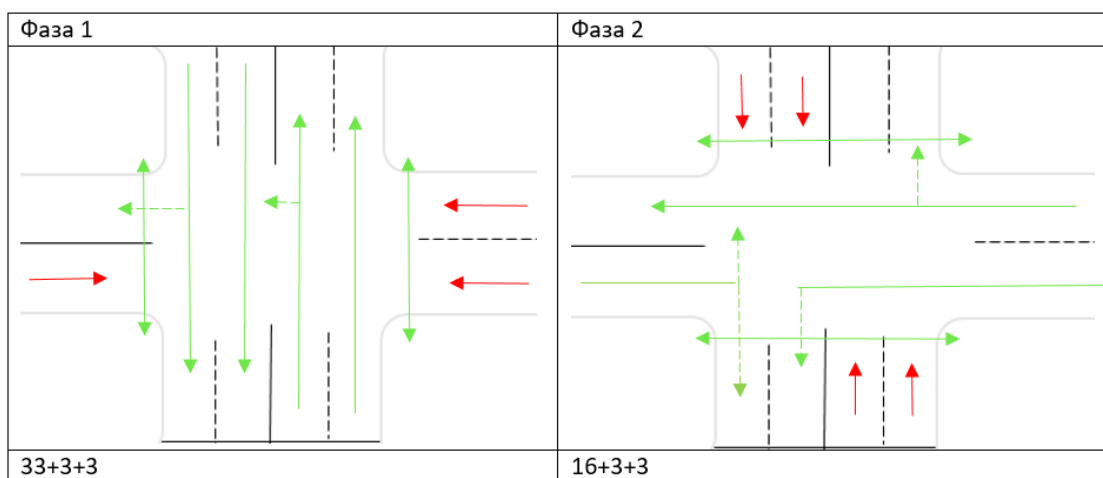


Рисунок 6 – Режим работы светофорного объекта на пересечении ул. Куйбышева - ул. Коминтерна для существующей ситуации

4.2.2 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования без пешеходной фазы

$$T^{сущ} = A^{сущ} + B^{сущ} + D^{сущ} + E^{сущ} + F^{сущ}$$

4.2.2.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

$$A^{сущ} = \sum_i A_i^{сущ}$$

$$A_i^{сущ} = \sum_j A_{ij}^{np} \cdot Q_i^j$$

$$A_{11}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c} \right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{33}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{702}{926}\right) \frac{33}{61} \right]} = 23,7 \text{сек}$$

$$A_{12}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c} \right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{33}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{102}{300}\right) \frac{33}{61} \right]} = 17,2 \text{сек}$$

$$A_1^{np} = 23,7 \cdot 702 + 17,2 \cdot 102 = 18391,8$$

$$A_{21}^{сущ} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c} \right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{16}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{96}{313}\right) \frac{16}{61} \right]} = 24,5 \text{сек}$$

$$A_{22}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{16}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{54}{300}\right) \frac{16}{61}\right]} = 23,6 \text{сек}$$

$$A_{23}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^3}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^3\right) \frac{g^3}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{16}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{228}{613}\right) \frac{16}{61}\right]} = 24,9 \text{сек}$$

$$A_2^{сум} = 24,5 \cdot 96 + 23,6 \cdot 54 + 24,9 \cdot 228 = 9303,6$$

$$A_{31}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{33}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{1110}{926}\right) \frac{33}{61}\right]} = 30,5 \text{сек}$$

$$A_{33}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{33}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{36}{300}\right) \frac{33}{61}\right]} = 15 \text{сек}$$

$$A_3^{сум} = 30,5 \cdot 1110 + 15 \cdot 36 = 34395$$

$$A_{42}^{сум} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{16}{61}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{54}{300}\right) \frac{16}{61}\right]} = 23,6 \text{сек}$$

$$A_{43}^{сущ} = \frac{0,5c(1 - \frac{g^3}{c})}{1 - \left[\min(1, x^3) \frac{g^3}{c} \right]} = \frac{0,5 \cdot 61(1 - \frac{16}{61})}{1 - \left[\min(1, \frac{228}{313}) \frac{16}{61} \right]} = 27,8 \text{сек}$$

$$A_4^{сущ} = 23,6 \cdot 54 + 27,8 \cdot 228 = 7612,8$$

$$A^{сущ} = 18391,8 + 9303,6 + 34395 + 7612,8 = 69703,2$$

4.2.2.2 Расчет времени задержки, возникающей из-за необходимости пропуска пешеходов

$$B^{сущ} = \sum_i B_i^{сущ}$$

$$B_i^{сущ} = B_{i2}^{сущ} Q_i^2 + B_{i3}^{сущ} Q_i^3$$

$$\begin{aligned} B_{12}^{сущ} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\ &= 33 - \min \left[33, \max \left(\frac{33 \cdot 400}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{7}{1.4}, 0 \right) \right] \\ &\quad + \frac{7}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 7 \text{сек} \end{aligned}$$

$$B_1^{сущ} = 7 \cdot 102 = 714$$

$$\begin{aligned}
 B_{22}^{сум} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\
 &= 16 - \min \left[16, \max \left(\frac{16 \cdot 100}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{14}{1.4}, 0 \right) \right] \\
 &+ \frac{14}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 10 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{23}^{сум} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\
 &= 16 - \min \left[16, \max \left(\frac{16 \cdot 100}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{14}{1.4}, 0 \right) \right] \\
 &+ \frac{14}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 10 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$B_2^{сум} = 10 \cdot 54 + 10 \cdot 228 = 2820$$

$$\begin{aligned}
 B_{33}^{сум} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\
 &= 33 - \min \left[33, \max \left(\frac{33 \cdot 100}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{10,5}{1.4}, 0 \right) \right] \\
 &+ \frac{10,5}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 7 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$B_3^{сум} = 7 \cdot 36 = 252$$

$$\begin{aligned}
 B_{42}^{сущ} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\
 &= 16 - \min \left[16, \max \left(\frac{16 \cdot 100}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{14}{1.4}, 0 \right) \right] \\
 &+ \frac{14}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 10 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{43}^{сущ} &= g_n^n - \min \left[g_n^n, \max \left(\frac{g_n^n N_n / 2}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{N_n / 2} - \frac{S}{v_n}, 0 \right) \right] + \frac{S}{v_n} \min \left(\frac{N_n / 2^c}{3600}, 1 \right) \\
 &= 16 - \min \left[16, \max \left(\frac{16 \cdot 100}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{100} - \frac{14}{1.4}, 0 \right) \right] \\
 &+ \frac{14}{1.4} \min \left(\frac{100 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 10 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$B_4^{сущ} = 10 \cdot 54 + 10 \cdot 228 = 2820$$

$$B^{сущ} = 714 + 2820 + 252 + 2820 = 6606$$

4.2.2.3 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающей из-за необходимости пропуска встречного потока

$$D^{сущ} = \sum_i D_i^{сущ}$$

$$D_i^{сущ} = D_{i3}^{сущ} Q_i^3$$

$$\begin{aligned}
 D_{33}^{np} &= \left[g - \min \left[g, \max \left(\frac{gQ}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_c}{3600}, 1 \right) \right] \\
 &= \left[33 - \min \left[33, \max \left(\frac{33 \cdot 702}{3600} - \frac{3600}{61}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{702} - \frac{10,5}{6,9}, 0 \right) \right] \right] \\
 &+ \frac{10,5}{6,9} \min \left(\frac{702 \cdot 61}{3600}, 1 \right) = 30,1 \text{сек}
 \end{aligned}$$

$$D_3^{сум} = 30,1 \cdot 36 = 1083,6$$

$$D^{сум} = 1083,6$$

4.2.2.4 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств

$$E^{сум} = \sum_i E_i^{сум}$$

$$E_i^{сум} = B_{i2}^{сум} q_i^2 + (B_{i3}^{сум} + D_{i3}^{сум}) q_i^3$$

$$E_i^{сум} = B_{i2}^{сум} q_i^2 = 7 \cdot 87 = 609$$

$$E_i^{сум} = B_{22}^{сум} q_2^2 = 10 \cdot 54 = 540$$

$$E_3^{сум} = (B_{33}^{сум} + D_{33}^{сум}) q_3^3 = (7 + 30,9) \cdot 180 = 6822$$

$$E_4^{сум} = B_{42}^{сум} q_4^2 + (B_{43}^{сум} + D_{33}^{сум}) q_4^3 = 10 \cdot 228 + (10 + 0,4) \cdot 54 = 2843,2$$

$$E^{сум} = 609 + 540 + 6822 + 2843,2 = 10814,2$$

4.2.2.5 Расчет времени задержки пешеходов

$$F^{сущ} = \sum_i F_i^{сущ}$$

$$F_i^{сущ} = F_{i1}^{сущ} N_i$$

$$F_{11}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(61 - 16)^2}{2 \cdot 61} = 16,6 \text{сек}$$

$$F_1^{сущ} = 16,6 \cdot 200 = 3319,7$$

$$F_{21}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(61 - 33)^2}{2 \cdot 61} = 6,4 \text{сек}$$

$$F_2^{сущ} = 6,4 \cdot 200 = 1285,3$$

$$F_{31}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(61 - 16)^2}{2 \cdot 61} = 16,6 \text{сек}$$

$$F_3^{сущ} = 16,6 \cdot 200 = 3319,7$$

$$F_{41}^{сущ} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(83 - 19)^2}{2 \cdot 83} = 24,7 \text{сек}$$

$$F_4^{сущ} = 24,7 \cdot 200 = 4940$$

$$F^{сущ} = 3319,7 + 1285,3 + 3319,7 + 4940 = 12864,7$$

$$T^{сум} = 69703,2 + 6606 + 1083,6 + 10814,2 + 12864,7 = 101071,7$$

4.2.3 Расчет времени задержки транспортных средств и пешеходов для варианта светофорного регулирования с пешеходной фазой

$$T^{np} = A^{np} + D^{np} + E^{np} + F^{np}$$

4.2.3.1 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающий из-за ожидания разрешающего сигнала светофора

$$A^{np} = \sum_i A_i^{np}$$

$$A_i^{np} = \sum_j A_{ij}^{np} \cdot Q_i^j$$

$$A_{11}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{33}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{702}{926}\right) \frac{33}{83}\right]} = 35,7 \text{сек}$$

$$A_{12}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{33}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{102}{300}\right) \frac{33}{83}\right]} = 28,9 \text{сек}$$

$$A_1^{np} = 35,7 \cdot 702 + 28,9 \cdot 102 = 28009,2$$

$$A_{21}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{16}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{96}{313}\right) \frac{16}{83}\right]} = 35,6 \text{сек}$$

$$A_{22}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{16}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{54}{300}\right) \frac{16}{83}\right]} = 34,7 \text{сек}$$

$$A_{23}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^3}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^3\right) \frac{g^3}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{16}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{228}{613}\right) \frac{16}{83}\right]} = 36,1 \text{сек}$$

$$A_2^{np} = 35,6 \cdot 96 + 34,7 \cdot 54 + 36,1 \cdot 228 = 13522,2$$

$$A_{31}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^1}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^1\right) \frac{g^1}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{33}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{1110}{926}\right) \frac{33}{83}\right]} = 41,5 \text{сек}$$

$$A_{33}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{33}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{36}{300}\right) \frac{33}{83}\right]} = 26,3 \text{сек}$$

$$A_3^{np} = 41,5 \cdot 1110 + 26,3 \cdot 36 = 47011,8$$

$$A_{42}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^2}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^2\right) \frac{g^2}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 83 \left(1 - \frac{16}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{54}{300}\right) \frac{16}{83}\right]} = 34,7 \text{сек}$$

$$A_{43}^{np} = \frac{0.5c \left(1 - \frac{g^3}{c}\right)}{1 - \left[\min\left(1, x^3\right) \frac{g^3}{c}\right]} = \frac{0.5 \cdot 61 \left(1 - \frac{16}{83}\right)}{1 - \left[\min\left(1, \frac{228}{313}\right) \frac{16}{83}\right]} = 38,9 \text{сек}$$

$$A_4^{np} = 34,7 \cdot 54 + 38,9 \cdot 228 = 10743$$

$$A^{np} = 28009,2 + 13522,2 + 47011,8 + 10743 = 99286,2$$

4.2.3.2 Расчет времени задержки транспортных средств, возникающих из-за необходимости пропуска встречного потока

$$D^{np} = \sum_j D_i^{np}$$

$$D_i^{np} = D_{i3}^{np} Q_i^3$$

$$\begin{aligned} D_{33}^{np} &= \left[g - \min \left[g, \max \left(\frac{gQ}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_c}{3600}, 1 \right) \right] \\ &= \left[33 - \min \left[33, \max \left(\frac{33 \cdot 702}{3600} - \frac{3600}{83}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{10,5}{6,9}, 0 \right) \right] \right] \\ &+ \frac{10,5}{6,9} \min \left(\frac{702 \cdot 83}{3600}, 1 \right) \right] = 28,9 \text{сек} \end{aligned}$$

$$D_3^{np} = 28,9 \cdot 38 = 1098,2$$

$$\begin{aligned}
 D_{43}^{np} &= \left[g - \min \left[g, \max \left(\frac{gQ}{3600} - \frac{3600}{c}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{Q} - \frac{S/2}{v}, 0 \right) \right] + \frac{S/2}{v} \min \left(\frac{Q_c}{3600}, 1 \right) \right] \\
 &= \left[16 - \min \left[16, \max \left(\frac{16 \cdot 25}{3600} - \frac{3600}{83}, 1 \right) \max \left(\frac{3600}{25} - \frac{7}{6,9}, 0 \right) \right] \right] \\
 &+ \frac{7}{6,9} \min \left(\frac{25 \cdot 83}{3600}, 1 \right) = 0,6 \text{ сек}
 \end{aligned}$$

$$D_3^{np} = 0,6 \cdot 54 = 31,6$$

$$D^{np} = 1098,2 + 31,6 = 1129,8$$

4.2.3.3 Расчет времени задержки транспортных средств из-за впередиидущих транспортных средств

$$E^{np} = \sum_i E_i^{np}$$

$$E_i^{np} = D_{i3}^{np} q_i^3$$

$$E_3^{np} = D_3^{np} q_3^3 = 28,9 \cdot 180 = 5202$$

$$E_4^{np} = D_4^{np} q_4^3 = 0,6 \cdot 54 = 31,6$$

$$E^{np} = 5202 + 31,6 = 5233,6$$

4.2.3.4 Расчет времени задержки пешеходов

$$F^{np} = \sum_i F_i^{np}$$

$$F_i^{np} = F_{i1}^{np} N_i$$

$$F_{11}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(83 - 18)^2}{2 \cdot 83} = 25,5 \text{ сек}$$

$$F_1^{np} = 25,5 \cdot 200 = 5090,4$$

$$F_{21}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(83 - 19)^2}{2 \cdot 83} = 24,7 \text{ сек}$$

$$F_2^{np} = 24,7 \cdot 200 = 4934,9$$

$$F_{31}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(83 - 19)^2}{2 \cdot 83} = 24,7 \text{ сек}$$

$$F_3^{np} = 24,7 \cdot 200 = 4940$$

$$F_{41}^{np} = \frac{(c - g)^2}{2c} = \frac{(83 - 19)^2}{2 \cdot 83} = 24,7 \text{ сек}$$

$$F_4^{np} = 24,7 \cdot 200 = 4934,9$$

$$F^{np} = 5090,4 + 4934,9 + 4940 + 4934,9 = 19900,2$$

$$T^{np} = 99286,2 + 1129,8 + 5233,6 + 19900,2 = 125549,8$$

$$\Delta T = 101071,7 - 125549,8 = -24478,1 < 0$$

Таким образом, выделение пешеходной фазы светофорного регулирования нецелесообразно.

Литература

1. Якимов М.Р. Транспортные системы крупных городов. Анализ режимов работы на примере города Перми / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 169 с.
2. Михайлов А.Ю., Левашев А.Г., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007.– 208 с.