

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

Политехнический институт

Кафедра «Автомобильный транспорт»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, начальник

_____ Н.А. Никитин
_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой д.т.н.,
профессор

_____ Ю.В. Рождественский
_____ 2019 г.

Разработка методики расчета «зеленой волны» с учетом транспорта,
находящегося на перекрестке в ожидании начала движения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 230401.2019.81.ПЗ ВКР

Руководитель,

к.ю.н., профессор

_____ В.А. Городокин
_____ 2019 г.

Автор,

студент группы П-215

_____ С.В. Колтышева
_____ 2019 г.

Нормоконтролер,

доцент

_____ /П.Н. Баранов/
_____ 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АВТОМОБИЛИЗАЦИЯ	9
Выводы по разделу один.....	14
2 АВАРИЙНОСТЬ	16
Выводы по разделу два.....	24
3 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	25
Выводы по разделу три.....	32
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА «ЗЕЛеноЙ ВОЛНЫ» С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ В ОЖИДАНИИ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ	35
4.1 Цикл работы светофорного объекта	37
4.2 Графоаналитический метод построения расчета «зеленой волны»	46
Выводы по разделу четыре.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ В	59

ВВЕДЕНИЕ

Магистерская диссертация представляет собой выпускную квалификационную работу научного содержания, которая имеет внутреннее единство и отражает ход и результаты разработки выбранной темы [1].

При движении по городу автомобилям приходится часто останавливаться на перекрестках, где работа светофоров не скоординирована. Периодически повторяющиеся разгоны и торможения утомляют водителя, увеличивают расход топлива, повышают износ автомобиля. Чтобы сделать движение равномерным была придумана автоматическая система светофорного регулирования «зеленая волна». В сравнении с самостоятельным светофорным регулированием каждого отдельного перекрестка автоматическое совместное светофорное регулирование создаёт ряд преимуществ:

- повышается скорость движения по магистрали;
- сокращаются остановки транспорта у перекрёстков;
- уменьшается число дорожно-транспортных происшествий и др.

«Зелёная волна» рассчитывается на определённую среднюю скорость, а между светофорами устанавливается связь, обеспечивающая включение зелёных сигналов к моменту подхода группы транспортных средств. На всех перекрёстках участка дороги, задействованного в «зеленой волне», задаётся один и тот же цикл. Зелёный свет загорается с заранее определённым сдвигом.

Для повышения надёжности работы «зелёной волны», помимо светофоров, использует специальные указатели расчётной и необходимой в данный момент скорости движения транспортных средств.

Объект исследования – разработка методики расчета «зеленой волны» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения.

Предмет исследования – построение диаграммы светофорного объекта,

изображение существующей организации движения на ключевом перекрестке, картограммы интенсивности, построение графика «зеленой волны».

Цель работы: разработать методику расчета «зеленой волны» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения.

Задачи, поставленные в работе:

- a) изучить автомобилизацию;
- b) изучить аварийности;
- c) исследовать международный опыт внедрения «зеленой волны»;
- d) рассчитать светофорный цикл и построить диаграмму работы светофорного объекта;
- e) изучить существующую методику расчета «зеленой волны»;
- f) сформировать исходные данные к расчету «зеленой волны»;
- g) рассчитать «зеленую волну» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения;
- h) построить график «зеленой волны».

Методы и подходы, применённые в работе для решения поставленных задач: статистические данные Международной организации производителей автомобилей, компании INRIX и научного центра МВД России; технический подход расчета длительности цикла светофорной сигнализации на перекрестке; графоаналитический метод расчета программы координации («зеленой волны»).

Основные источники информации: учебник Кременец Ю.А. «Технические средства организации дорожного движения», учебное пособие Городокина В.А. «Организация дорожного движения. Расчет беззаторного проезда узла улично-дорожной сети», сведения из сети Интернет, информационные бюллетени и сборники.

Предмет защиты – разработанная методика расчета «зеленой волны» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения.

Практическая ценность работы и элементы её новизны: проект имеет практическую ценность как для учебного процесса, так и для разработки усовершенствованных программ координации. В работе учитывается весь транспорт, прибывший к перекрестку за полное время одного цикла и проехавший без образования заторов, вместе с автомобилями, подъехавшими к перекрестку с прилегающих территорий или повернувшие с примыкающих дорог во время запрещающего сигнала светофора в данном направлении.

Данная работа состоит из четырех глав. В первой главе описывается уровень автомобилизации в мире. Вторая глава посвящена уровню аварийности в мире и отдельно в России. В третьей главе рассмотрен международный опыт реализации программ координированного управления движения. А четвертая глава посвящена непосредственно технологической части, расчету светофорного объекта и построению графика «зеленой волны» по новой методике.

Объём основного материала пояснительной записки – 59, количество рисунков – 18, таблиц – 6, число наименований списка использованных источников и литературы – 17.

1 АВТОМОБИЛИЗАЦИЯ

По данным Международной организации производителей автомобилей (ОИСА) [2] общее число находящихся в эксплуатации машин в мире на конец 2015 года составляет 1,282 млрд автомобилей. Больше всего автомобилей в абсолютных числах в США – 264 млн единиц. Уровень автомобилизации в мире за период с 2010 года по 2015 год (рис.1) увеличился на 40%. Среднемировой уровень автомобилизации – 182 автомобиля на 1000 жителей.

Количество транспортных средств, находящихся в эксплуатации													
Контрольные цифры													
Регионы/страны	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Уровень автомобилизации 2014 (1 ТС на 1000 жителей)	Уровень автомобилизации 2015 (1 ТС на 1000 жителей)
в тысячах единиц													
Европа	321 716	329 557	334 109	343 887	347 765	353 602	360 601	366 902	373 775	380 136	387 519	463	471
15 стран-членов ЕС+ЕАСТ	232 269	236 732	234 424	236 677	237 607	240 024	242 387	243 296	244 598	246 641	250 037	596	602
Новые страны-члены ЕС (после 01.05.2004 г.)	37 303	38 179	40 902	44 149	45 078	45 973	47 117	48 560	49 921	50 650	52 545	480	500
Россия, Турция и другие страны Европы	52 144	54 645	58 782	63 061	65 080	67 606	71 097	75 046	79 256	82 846	84 937	275	281
Америка	327 787	340 589	350 512	358 800	363 039	368 200	375 707	384 472	391 967	403 022	413 725	411	418
Азия/Океания/Средний Восток	216 799	227 920	245 238	257 272	275 198	298 552	323 843	351 645	378 796	409 362	436 222	100	105
Африка	25 726	28 576	30 370	32 416	33 854	35 346	36 869	38 617	40 389	42 366	44 803	41	42
Все страны	892 028	926 642	960 228	992 375	1 019 856	1 055 700	1 097 019	1 141 636	1 184 928	1 234 887	1 282 270	178	182

Рисунок 1 – Количество транспортных средств, находящихся в эксплуатации, включая уровень автомобилизации по регионам/странам

В топ-5 самых автомобилизированных стран по состоянию на 2015 год попали следующие страны: Пуэрто-Рико, США, Новая Зеландия, Исландия и Мальта (табл. 1).

Таблица 1 – Топ-5 самых автомобилизированных стран

Страна	Автомобили на 1000 жителей
Пуэрто-Рико	901
США	821
Новая Зеландия	819
Исландия	796
Мальта	775
Люксембург	745
Австралия	718

Продолжение таблицы 1

Страна	Автомобили на 1000 жителей
Бруней	711
Италия	706
Канада	646

Глобальная компания INRIX, анализирующая данные с дорожных датчиков и транспортных средств, в феврале опубликовала объемное и самое подробное исследование «INRIX 2017 Traffic Scorecard» о заторах движения на сегодняшний день, которое показало результаты загруженности дорог в мире. Это исследование содержит данные о 1360 городах в 38 странах, охватывающие 250 000 квадратных километров дорожного полотна. Стоит отметить, что заторы на дорогах являются глобальным явлением, которое оказывает влияние на эффективность ведения бизнеса, состояние здоровья каждого отдельного пассажира, в равной степени на большие и маленькие города, на страны с развитой и развивающейся экономикой [3]. За перегрузку дорог исследователи компании INRIX принимают скорость движения транспортных средств ниже 65% от скорости при свободном потоке движения.

С точки зрения экономики исследование INRIX оценило издержки в связи с заторами в двух странах: США и Великобритании. При этом выделяются издержки прямые и косвенные. Прямые издержки несут непосредственно водители автомобилей, ожидая в «пробках» – стоимость времени, которое они потратили без необходимости в заторе, дополнительные расходы на топливо, выбросы, выделяемые транспортным средством. Косвенные издержки несут компании за счет увеличения цены на товары и услуги из-за заторов, которые влияют на ведение бизнеса.

Стоимость потерянного времени оценивается через уровень загруженности и среднюю скорость автомобилей в часы пик и во время свободного движения согласно среднему расстоянию, которое проехал водитель по дороге на работу, в рамках ведения бизнеса или с другими

целями. Эти значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Экономическая оценка потерянного времени в заторах в США и Великобритании

	Стоимость потерянного времени, в долларах		Уровень загруженности	
	США	Великобритания	США	Великобритания
Работа	13,16	12,33	1,13	1,2
Бизнес	25,87	18,41	1,94	1,8
Другое (отдых, шоппинг и т.д.)	9,77	5,62	1,94	1,8

При ранжировании стран и городов по загруженности дорог компания INRIX использовала три показателя: время, потраченное в пробках, индекс загруженности INRIX, средний уровень загруженности.

Время, потраченное в пробках, представляет собой время, которое тратит водитель на свой путь в день, двигаясь в час пик.

Индекс загруженности INRIX – это средний уровень загруженности, учитывающий часы пик, время суток, движение за городом либо в черте города.

Средний уровень загруженности представляет собой процент времени, потраченного при затрудненном движении, от общего времени в пути в любое время дня и на любом участке дороги.

В таблице 3 показаны топ-25 городов, ранжированных компанией INRIX по трем показателям, описанным выше, на 2017 год. Необходимо учесть, что зависимость между позицией в рейтинге и общим уровнем загруженности не велика, потому что причина затора зависит от города. А именно, в некоторых очень старых городах узкие улицы в центральной его части, через другие города проходят стратегические дороги, связывающие много соседних

городов.

Неудивительно, что города с самым высоким уровнем загруженности являются столицами, известными торговыми и политическими центрами. Они обычно имеют плотные дорожные сети в сочетании с большим количеством населения, людей, проживающих в пригороде и ежедневно едущих на работу и гостей города. Ряд менее развитых городов за пределами Европы и Северной Америки, такие как Сан-Паулу, Богота, Бангкок, Джакарта, Мехико, Рио-де Жанейро, также вошел в данный рейтинг. Некоторые из этих городов имеют огромное население, но очень плохие дороги общего пользования и/или транспортные системы и используют новейшие интеллектуальные транспортные системы: оптимизация светофора или динамические полосы.

Итак, рейтинг городов с самым высоким уровнем загруженности на 2017 г. возглавляет Лос-Анджелес, где водитель в среднем тратит 102 часа, двигаясь в час пик, в Москве и Нью-Йорке – 91 час, в Сан-Паулу – 86 часов, в Сан-Франциско – 79 часов. Лондон (74 часа) занял седьмое место из 1360 городов, после Боготы, где водители провели 75 часов в «пробке» в прошлом году. Следует отметить, что города США занимают 10 из 25 самых высоких позиций в рейтинге городов. Из городов Европы в топ-25 вошли Париж с простоем в 69 часов, Стамбул – 59 часов, Цюрих – 51 час и Мюнхен – 51 час. Показатели автомобилизации INRIX 2017 с 2016 года включают в себя более 100 густонаселенных российских городов. В Москве люди потратили в заторах в 2017 году 91 час, в Краснодаре – 57 и в Санкт-Петербурге – 54 часа.

Таблица 3 – Топ-25 городов с самым высоким уровнем загруженности

Ранг	Город	Время, потраченное в пробках	Средний уровень загруженности	Индекс загруженности INRIX
1	Лос-Анджелес	102	18,3	12
2	Москва	91	201,1	26
3	Нью-Йорк	91	17,4	13

Продолжение таблицы 3

Ранг	Город	Время, потраченное в пробках	Средний уровень загруженности	Индекс загруженности INRIX
4	Сан-Паулу	86	16,9	22
5	Сан-Франциско	79	13,7	12
6	Богота	75	16,2	30
7	Лондон	74	14,1	13
8	Атланта	70	12,3	10
9	Париж	69	13,1	13
10	Майами	64	11,8	9
11	Бангкок	64	12,5	23
12	Джакарта	63	13,4	20
13	Вашингтон	63	10,8	11
14	Бостон	60	10,6	14
15	Стамбул	59	12,2	19
16	Мексика	58	12,4	13
17	Чикаго	57	10,3	10
18	Медельин	57	11,4	21
19	Краснодар	57	12,4	25
20	Сиэтл	55	9,6	12
21	Санкт-Петербург	54	11,6	21
22	Даллас	54	9,3	6
23	Цюрих	51	9,2	17
24	Рио-де-Жанейро	51	10,6	15
25	Мюнхен	51	9,1	16

Следующий рейтинг (таблица 4) показывает загруженность в час-пик и индекс загруженности INRIX по странам, которые определяются как средневзвешенные показатели городов этих стран.

Таблица 4 – Топ-10 стран с самым высоким уровнем загруженности

Ранг	Страна	Средняя загруженность в час-пик	Средний индекс загруженности INRIX
1	Тайланд	56	11
2	Индонезия	51	11,1
3	Колумбия	49	10,2
4	Венесуэла	42	8,2
5	Россия	41	9,2
6	США	41	7,3
7	Бразилия	36	7,3
8	Северная Африка	36	5,9
9	Турция	32	6,7
10	Великобритания	31	5,6

Из 38 стран, охваченных исследованием INRIX 2017, Таиланд, второй год подряд возглавляет рейтинг стран с самым высоким средним количеством часов, потраченных в час пик – 56 часов (по сравнению с 61 часом в 2016 году), опередив Индонезию (51 час), Колумбию (49 часов), Венесуэлу (42 часа), США и Россию, которые делят между собой пятое место (41 час). Великобритания стала 10-ой в мировом рейтинге стран, третьей среди развитых стран и третьей самой перегруженной страной в Европе, которая отстает от России и Турции.

Уровень автомобилизации с 2010 года по 2018 год в России можно проследить в таблице 1 [4, 5]. Данные представлены по легковым автомобилям.

Таблица 5 – Общий уровень автомобилизации в России

Год	На 1000 человек
2010	228,4
2011	242,0
2012	257,5
2013	273,1
2014	283,3
2015	288,8
2016	294,0
2017	305,0

Из таблицы 5 видно, что в РФ за последние 7 лет число собственных легковых автомобилей (на 1000 человек населения) увеличилось на 34 %.

По данным Росстата на 2017 год Челябинская область занимает 38-е место по уровню автомобилизации – 311,3 легковых автомобилей на 1000 жителей области.

Выводы по разделу один

В первом разделе проанализированы мировые показатели автомобилизации. По данным Международной организации производителей

автомобилей (ОИСА) общее число находящихся в эксплуатации машин в мире на конец 2015 года составляет 1,282 млрд автомобилей. Уровень автомобилизации в мире за период с 2010 года по 2015 год увеличился на 40%. Рейтинг городов с самым высоким уровнем загруженности на 2017 г. возглавляет Лос-Анджелес, где водитель в среднем тратит 102 часа, двигаясь в час пик, в Москве и Нью-Йорке – 91 час. Таиланд, второй год подряд возглавляет рейтинг стран с самым высоким средним количеством часов, потраченных в час пик – 56 часов.

Количество автомобилей в России за последние 8 лет увеличилось на 9,8 млн, а уровень автомобилизации возрос на 26%.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что уровень автомобилизации продолжает расти, возникает потребность в увеличении пропускной способности дорожной сети. С каждым годом увеличивающееся количество машин создает множество проблем, связанных с организацией дорожного движения, которые требуют своевременного их решения. И одним из негативных факторов растущей автомобилизации является уровень аварийности.

2 АВАРИЙНОСТЬ

В новом докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) отмечается, что смертность в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) продолжает расти, составляя 1,35 миллиона случаев смерти в год. Согласно последнему исследованию глобального бремени болезней (группа показателей, характеризующих смертность и инвалидность от основных заболеваний, травм и факторов их риска [6]) смерть в результате ДТП является пятой по значимости причиной смерти, опережая ВИЧ/СПИД, малярию и туберкулез [7]. В Докладе ВОЗ о состоянии безопасности дорожного движения в мире 2018 г. подчеркивается, что на сегодняшний день травмы в результате ДТП являются основной причиной смерти детей и молодых людей в возрасте 5-29 лет [7].

В Докладе ВОЗ о состоянии безопасности дорожного движения в мире 2018 г. указывается, что несмотря на рост общего числа случаев смерти, коэффициенты смертности по отношению к численности населения мира за последние годы стабилизировались [7]. Это позволяет предполагать, что меры, принимаемые в некоторых странах со средним и высоким уровнем дохода, способствуют смягчению ситуации, такие как решительные меры политики и обеспечение соблюдения, продуманное строительство дорог и мощные кампании по информированию общественности могут способствовать спасению миллионов человеческих жизней в ближайшие десятилетия.

В странах, где был достигнут прогресс, успехи были в значительной мере обусловлены улучшением законов в отношении таких ключевых факторов риска, как превышение скорости, управление транспортными средствами в нетрезвом состоянии и неиспользование ремней безопасности, мотоциклетных шлемов и детских удерживающих устройств; усилением безопасности инфраструктуры, например, путем сооружения тротуаров и дорожек для велосипедистов и мотоциклистов; улучшением стандартов на

транспортные средства, например, путем обязательного требования электронной системы безопасности и антиблокировочной тормозной системы; и улучшением медицинской помощи после аварий.

В докладе отмечается, что эти меры способствовали сокращению смертности в результате ДТП в 48 странах со средним и высоким уровнем дохода [7]. Вместе с тем, ни в одной стране с низким уровнем дохода общая смертность не снизилась, что в значительной мере объясняется отсутствием таких мер.

В действительности риск смерти в результате ДТП в странах с низким уровнем дохода по-прежнему в три раза превышает аналогичный показатель в странах с высоким уровнем дохода [7]. Самые высокие показатели наблюдаются в Африке (26,6 случая на 100 000 человек), а самые низкие – в Европе (9,3 случая на 100 000 человек) [7]. С другой стороны, со времени предыдущего выпуска доклада было зарегистрировано снижение коэффициентов смертности в результате ДТП в трех регионах мира – в Америке, Европе и Западной части Тихого океана.

Различия в уровнях смертности в результате ДТП отражены также в разбивке по типам пользователей дорог. В глобальных масштабах на пешеходов и велосипедистов приходится 26% всех случаев смерти в результате ДТП, причем этот показатель достигает 44% в Африке и 36% в Восточном Средиземноморье [7]. На мотоциклистов и их пассажиров приходится 28% всех случаев смерти в результате ДТП, но в некоторых регионах этот показатель выше – так, например, в Юго-Восточной Азии он составляет 43%, а в Западной части Тихого океана 36% [7].

Пулитцеровский центр освещения кризисов опубликовал статистику смертности в ДТП в разных странах [8]. На рисунке 6 можем наблюдать, что в Российской Федерации на 2018 год зарегистрировано 18 случаев смерти на 100000 чел., основная доля смертельных случаев приходится на аварии с участием автомобилей (57,6%) и пешеходов (29,2%). Основными причинами

летального исхода ДТП являются скорость и детские средства безопасности (рисунок 2).

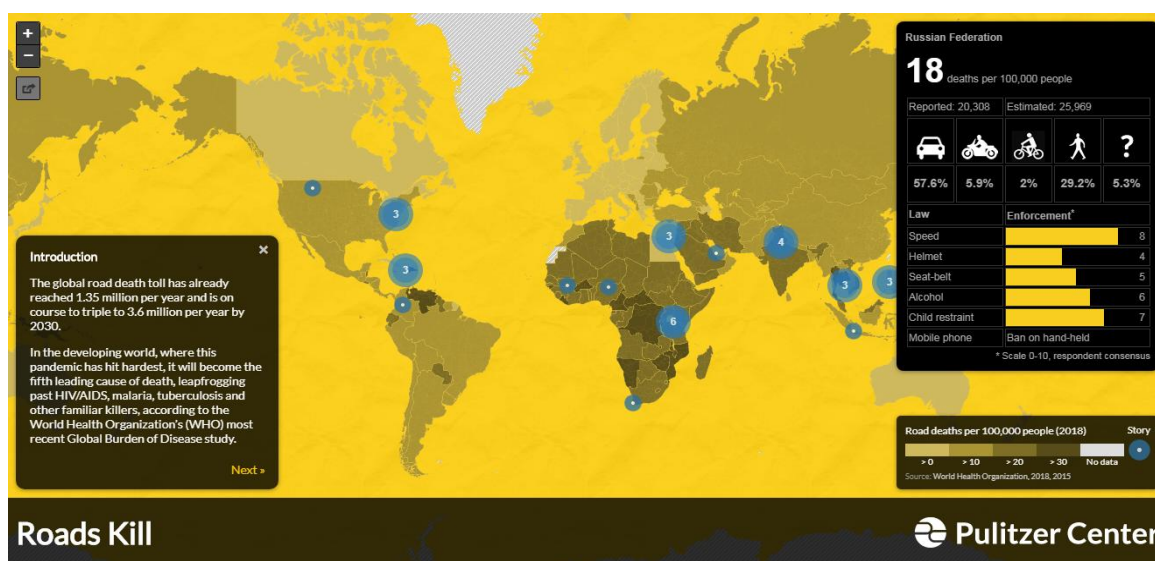


Рисунок 2 – Статистика смертности в ДТП в Российской Федерации

По итогам 12 месяцев 2018 года в Российской Федерации отмечалось сокращение основных показателей аварийности [9]. Вместе с тем, несмотря на определенные позитивные изменения, уровень дорожнотранспортной аварийности в стране остается попрежнему высоким – каждое девятое ДТП было со смертельным исходом. Тяжесть последствий ДТП составила 7,8. Всего на улицах и дорогах страны зарегистрировано 168099 (−0,8%) ДТП, в которых погибло 18214 (−4,6%) и получили ранения разной степени тяжести 214853 (−0,2%) человека (рис. 3).



Рисунок 3 – Основные показатели аварийности

Количество ДТП снизилось в 53 субъектах страны [9]. Наибольшее сокращение данного показателя зафиксировано в Ненецком автономном округе (-20,0%) и Чеченской Республике (-18,3%). Вместе с тем значение данного показателя существенно выросло в Республиках Северная Осетия-Алания (+25,8%) и Карелии (+23,0%). Число погибших в ДТП стало снизилось в 56 субъектах Российской Федерации. Максимальная динамика отмечена в Чукотском автономном округе (-60,0%) и Республике Хакасия (-33,0%). Наибольший рост данного показателя зафиксирован в Республике Мордовия (+26,5%). Основной массив ДТП в 2018 году, как и в предшествующие годы, локализован в июле-октябре [9]. Так, доля ДТП, произошедших в данный период, от общего количества ДТП составила 39,9%, а числа погибших и раненых – 43,0% и 40,0% соответственно. Самые большие абсолютные значения имели показатели августа, что является многолетней тенденцией. Одной из особенностей распределения показателей аварийности в течение недели являлось то, что наибольшее количество ДТП (25640 ДТП) зарегистрировано в субботу. Самым аварийно-опасным временем суток являлся период с 17:00 до 20:00 часов. В это время произошло каждое пятое ДТП (20,8%). В темное время суток совершено 57341 ДТП (-4,8), что составило 34,1% от общего их количества, при этом погибло 8810 человек (48,4% от численности всех погибших). Тяжесть последствий ДТП в это время суток составила 10,9, что почти в два раза выше аналогичного показателя ДТП в светлое время суток (6,2) (рис. 4).

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВАРИЙНОСТИ ПО МЕСЯЦАМ 2018 ГОДА						
	ДТП, кол- во	± % к АППГ	Погибло, чел.	± % к АППГ	Рангно, чел.	± % к АППГ
Январь	11585	-0,7	1259	-7,4	15172	-3,3
Февраль	9647	-7	905	-14,7	12278	-8,4
Март	10405	-0,3	1011	-2,3	13265	+1,9
Апрель	10936	-0,7	1139	-2	13571	-2,1
Май	13653	+3,7	1295	-3,3	16912	+2,4
Июнь	14859	+1,7	1541	-4,6	19348	+3,2
Июль	16092	-1,1	1916	-0,3	21265	+0,1
Август	17092	-1,6	1965	-4,5	22380	0
Сентябрь	16804	+0,1	2041	+3,6	21046	+0,3
Октябрь	17033	-2,1	1917	-6,7	21187	-1,3
Ноябрь	14746	-1,2	1600	-9,9	18712	+0,8
Декабрь	15247	-0,9	1625	-6,4	19717	+1,2

Рисунок 4 – Основные показатели аварийности за 2018 год

За 12 месяцев 2018 г. девять из десяти (88,1 %) ДТП произошло в результате нарушения Правил дорожного движения (ПДД) водителями транспортных средств (рисунок 5) [9]. Всего совершено 148 142 (+3,3%) таких ДТП, в которых погибло 15297 (-2,5%) и ранено 196653 (+2,6%) человека. Каждое девятое (11,4%) ДТП связано с нарушением ПДД пешеходами (19169 ДТП; -8,9%).



Рисунок 5 – Количество ДТП и их доля, %

Сопутствующее влияние недостатков транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети зафиксировано в 59421 (-12,5%) ДТП. Число погибших и раненых в таких ДТП составило 5573 (-20,3%) и 75851 (-11,9%) человек соответственно. В целом по стране с влиянием недостатков транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети связано каждое третье ДТП (35,3%). Среди всех неудовлетворительных дорожных условий, способствующих совершению ДТП, наиболее значительное влияние оказали: отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части (удельный вес 53,1%), отсутствие дорожных знаков в необходимых местах (23,5%), недостатки зимнего содержания (16,3%), отсутствие пешеходных ограждений в необходимых местах (10,1%), неправильное применение или плохая видимость дорожных знаков (9,5%). Значительно увеличилось количество ДТП, на совершение которых повлияла

плохая видимость светофора (+100,0%) и несоответствие железнодорожного переезда предъявляемым требованиям (+37,1%). Доля ДТП, в которых выявлены технические неисправности транспортных средств, за 12 месяцев 2018 года составила 3,7%. Всего в стране зарегистрировано 6221 (-3,6) такое ДТП, в котором погибло 1064 (+0,6) и получили ранения 8856 (-9,0) человек. К основным видам неисправностей относились: установка на одну ось ТС шин различных размеров, конструкций, моделей, с различными рисунками протектора, а также установка ошипованных и неошипованных шин одновременно (удельный вес 25,1%), наличие конструктивных изменений по сравнению с серийными транспортными средствами, сведения о которых отсутствуют в регистрационных документах (19,0%), неисправность внешних световых приборов (14,5%) и износ рисунка протектора (9,6%).

За 12 месяцев 2018 года, как и в предыдущие годы, основными видами ДТП являлись (рисунок 6) [9] столкновение транспортных средств (42,3%) и наезд на пешехода (29,1%). Наибольшей тяжестью последствий характеризовались наезд на гужевой транспорт (20,5), опрокидывание ТС (10,6) и наезд на пешехода (10,1). По сравнению с АППГ увеличились показатели ДТП таких видов, как наезд на животных (+13,5%), наезд на велосипедиста (+7,6%), падение пассажира (+6,7%) и наезд на препятствие (+6,7%).



Рисунок 6 – Количество ДТП по видам и их доля, %

Три четверти (76,9%) всех ДТП совершались в городах и населенных

пунктах, при этом доля погибших и раненых составила 47,7% и 73,7% соответственно (рисунок 7) [9]. Однако тяжесть последствий ДТП на автомобильных дорогах (вне городов и населенных пунктов) составила 14,3, что почти в три раза выше аналогичного показателя ДТП в городах и населенных пунктах (5,2).

ПОКАЗАТЕЛИ АВАРИЙНОСТИ ПО МЕСТАМ СОВЕРШЕНИЯ ДТП							
	ДТП, кол-во	± % к АППГ	Погибло, чел	± % к АППГ	Ранено, чел	± % к АППГ	Тяжесть послед. ДТП
В городах и населенных пунктах	129265	+0,2	8682	-3,4	158387	+1,2	5,2
На автодорогах (вне городов и НП)	36124	-4,8	8914	-6,3	53365	-4,7	14,3
В иных местах	2710	+8,9	618	+6,0	3101	+5,4	16,6

Рисунок 7 – Показатели аварийности по местам совершения ДТП

На автомобильных дорогах (вне городов и населенных пунктов) совершалось каждое пятое (21,5%) ДТП, их жертвами стала почти половина от общего числа погибших (48,9%, 8914 чел.), из которых каждый второй погиб (50,1%, 4465 чел.) на региональных или межмуниципальных дорогах (рисунок 8) [9]. Наибольшей тяжестью последствий (15,7) характеризовались ДТП, совершённые на федеральных автомобильных дорогах (ФАД), в таких ДТП погиб практически каждый второй (46,1%, 4111 чел.).



Рисунок 8 – Количество ДТП на автодорогах и их доля, %

По итогам 2018 года в результате нарушения ПДД водителями ТС произошло 148142 ДТП, в которых погибло 15297 и получили ранения 196653 человека [9]. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года при увеличении количества ДТП на 3,3 % и числа раненых на 2,6% отмечалось снижение числа погибших на 2,5%. Четыре из пяти (80,4%) таких ДТП (119177; +2,6%) совершались из-за нарушения ПДД водителями легковых автомобилей, в которых погибло 11994 (-3,6%) человека и 161322 (+2,2%) получили ранения.

Важно отметить, что третий год подряд фиксируется рост показателей аварийности из-за нарушения ПДД водителями-гражданами иностранных государств, в том числе стран СНГ. Увеличились показатели количества ДТП и числа раненых из-за нарушения ПДД водителями, находившимися в состоянии опьянения. Почти половина ДТП (44,6%) были совершены водителями в возрасте от 30 до 50 лет. Сократилось количество ДТП из-за нарушения ПДД водителями со стажем управления ТС до 2 лет. В 9920 (-3,4%) таких ДТП погибло 826 (-13,4%) и ранено 14198 (-2,9%) человек. При этом зафиксирован рост трех основных показателей аварийности из-за нарушения ПДД водителями со стажем управления от 10 до 15 лет [9].

Основными причинами аварийности из-за нарушения ПДД водителями ТС в 2018 году являлись (рисунок 9) [9] несоблюдение очередности при проезде перекрестков (27932 ДТП, (+2,1) или 18,9% от их общего количества), несоответствие скорости конкретным условиям движения или ее превышение (13536 (-12,9%) или 9,1%), выезд на полосу встречного движения (13905 (-8,1%) ДТП или 9,4%), нарушение правил проезда пешеходных переходов (1600 (+1,0) или 1,1%).

На рисунке 9 видно, что тяжесть последствий ДТП наибольшая при выезде ТС на полосу встречного движения и при нарушении скоростного режима.

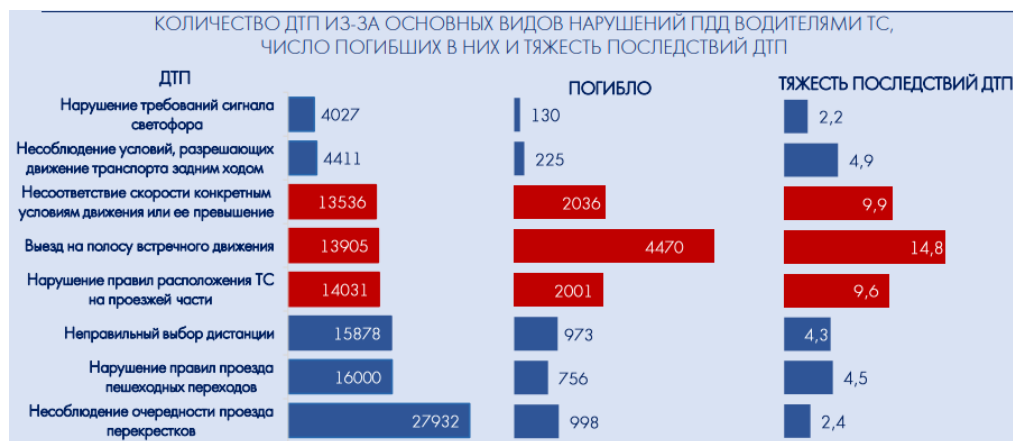


Рисунок 9 – Сопоставление количества ДТП из-за основных видов нарушений ПДД водителями ТС и тяжести последствий ДТП

Выводы по разделу два

В разделе 2 на рисунке 9 видно, что тяжесть последствий ДТП наибольшая при выезде ТС на полосу встречного движения и при нарушении скоростного режима. Программа координированного управления дорожным движением или «зеленая волна» предполагает единую расчетную скорость для потока автомобилей. Данное условие является обязательным для беззаторного проезда, а также может снизить смертность в аварии при несоответствии скорости конкретным условиям движения или ее превышения.

3 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Сингапур – высокоразвитая страна с рыночной экономикой и низким налогообложением, в которой важную роль играют транснациональные корпорации. В рейтинге конкурентоспособности ВЭФ экономика Сингапура заняла в 2018 году 2-е место [10]. С 60-х годов прошлого века в Сингапуре удалось создать совершенно прозрачную рыночную экономику с высокой конкуренцией, низким налогообложением и прекрасным инвестиционным климатом. И хотя преобразования затронули все сферы экономики, наиболее успешно стала развиваться инфраструктура, в частности, транспорт [11].

Большая часть Сингапура связана между собой автомобильными дорогами. Скоростные автомагистрали связывают основные районы города. Общая протяженность скоростных автомагистралей составляет 150 км, всей дорожной сети – 3262 км [12]. В Сингапуре три рычага управления автотранспортом [13]:

- 1) ERP – система платных дорог;
- 2) COE – лицензия на покупку машины;
- 3) GLIDE / EMAS – интеллектуальные системы управления потоками, так называемая «Зеленая волна».

Первый пуск системы определения «зеленой волны», Green Link Determining System (GLIDE) состоялся в Сингапуре в 1988 году. Система была внедрена сразу на 200 наиболее загруженных перекрестках центра города. В задачи системы входило:

- гибкое регулирование времени «зеленого» сигнала светофора, в зависимости от текущих потребностей водителей и пешеходов;
- согласование расписания «зеленой волны» между соседними перекрестками для минимизации остановок транспорта;
- возможность оперативно восстановить расписание наземного транспорта, в случае сбоев или аварий.

На данный момент в Сингапуре GLIDE работает в 18 районах города

(а всего их 28), управляя в общей сложности 2200 перекрестками. GLIDE является многоуровневой системой, с местными (на перекрестках), районными (региональными), а также центральными узлами в единой компьютерной сети. GLIDE – это система, которая реагирует на дорожную ситуацию, координирует схемы обеспечения заданной пропускной способности между районами за счет активного вмешательства в сигнальные режимы перекрестков, а также «решает проблемы» транспортных заторов, обнаруженных на микрорайонном уровне, или уровне отдельного перекрестка. Кроме того, GLIDE также позволяет вручную вводить данные операторами в едином центре управления.

Критерием контроля пропускной способности в GLIDE является параметр Level Of Service (LOS), определяемый в секундах задержки автомобиля на перекрестке.

GLIDE собирает информацию из пары индукционных рамок (рис. 10), уложенных одна за другой в каждой полосе, в специальных канавках дорожного полотна.

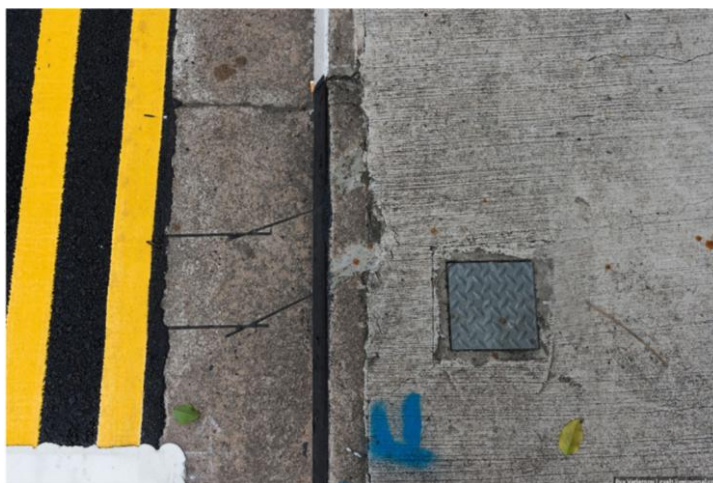


Рисунок 10 – Индукционная рамка

Каждая рамка подключается к источнику тока и контролеру, который подсоединен к узлу обеспечения на данном перекрестке. При наезде на такую

рамку, корпус автомобиля наводит помехи на постоянное магнитное поле, которое замечает контролер.

Пешеходы взаимодействуют с GLIDE путем запроса пешеходного цикла на перекрестке, нажимая на кнопку (рис. 11). Пожилые люди и граждане с ограниченной мобильностью могут также приложить свою карту к специальным считывателям, которые обеспечат продление пешеходного цикла на 12 секунд для более безопасного перехода улицы.



Рисунок 11 – Кнопка запроса пешеходного цикла

Некоторые перекрестки в Сингапуре работают в специальном режиме GLIDE, обеспечивающем приоритет для автобусов. Такие перекрестки имеют специальную светофорную секцию с литерой «В», и соответственно называются «B-Signal» (рис. 12).



Рисунок 12 – Приоритетная секция для автобусов

В автобусы, обслуживающие маршруты, на которых компанией-перевозчиком и транспортным регулятором было заключено соглашение о переключении режимов B-Signal перекрестков, устанавливают специальные радиопередающие устройства. С их помощью модули GLIDE узнают об приближении автобуса за несколько кварталов, и подстраивают «зеленую волну», используя оптимальный вариант из возможных: вводят задержку смены текущего зеленого сигнала, ранний старт зеленого сигнала, специальную фазу сигналов на всем перекрестке для проезда этого автобуса, или пропуск светофорного цикла и задержка автобуса, если есть GLIDE-задача с более высоким приоритетом.

GLIDE не требует вмешательства оператора в своем штатном режиме

работы. Система отправляет информацию о пропускной способности и заторах в единый центр управления (рис. 13), который в Сингапуре получил название Operation Control Center (OCC).



Рисунок 13 – Единый центр управления (OCC)

Сотрудники этого центра имеют доступ к детальной настройке режимов «зеленой волны», могут вручную вводить различные приоритеты для улиц или целых микрорайонов. Система GLIDE самостоятельно взаимосвязывает элементы водитель-автомобиль-дорога-среда, подстраиваясь под указания операторов.

Для задач обеспечения правопорядка, а также проезда первых лиц Сингапура и делегаций по городу, GLIDE имеет поддержку функций «полицейского управления», как местного, так и удаленного.

Для бригад пожарной охраны на прилегающих к пожарным частям перекресткам существует сигнал «тревога», когда пожарная часть автоматически запрашивает у GLIDE режим «Срочный» для проезда в нужном направлении.

Операторы в центре управления могут вводить подобные режимы для обеспечения более высокого приоритета по какой-либо из улиц, где, например, будет происходить запланированное мероприятие

международного уровня, требующее VIP-внимания с точки зрения автотранспортной доступности в определенные интервалы времени, но не требующее вмешательства полиции.

Система GLIDE отлично зарекомендовала себя за много лет работы в сложных условиях перегруженного автотранспортом мегаполиса. Система позволяет снизить количество задержек на пути автовладельцев, нормализует режимы перекрестков, максимизируя плановую пропускную способность дорожной сети.

Рассмотрим еще одну интеллектуальную систему управления потоками – Expressway Monitoring Advisory System (EMAS) – система дорожного информирования об обстановке на автомагистралях. Эта система собирает информацию о происшествиях с помощью J-Eye камер (панорамные камеры), а также вручную, через горячую линию и другие средства связи, и оповещает водителей о предстоящих затруднениях в пути, дабы они могли принять решение куда-нибудь поехать в объезд. На более чем 500 установленных информационных табло EMAS (рис. 14), расположенных на автомагистралях, прилегающих к автомагистралям дорогам, отображается ожидаемое время в пути до типичных пунктов назначения (аэропорт, центр города, развязки, другие автомагистрали). Время отображается совместно с цветовым кодированием, используя до 7 цветов.



Рисунок 14 – Информационное табло EMAS

Эту информацию EMAS получает напрямую из служб такси, которые обрабатывают данные о продвижении их машин по обязательно установленным GPS-устройствам.

Второй компонентой EMAS является заблаговременное оповещение водителей на автомагистралях о необходимости перестроения в ту или иную часть многополосной дороги в связи с поломками автомобилей, занятыми обочинами, заторами или работами (поливка зеленых насаждений и т.п.).

Стоит отметить, что в центре слежения за дорожной обстановкой EMAS работает группа диспетчеров, отдающая заказы на эвакуацию сломавшихся автомобилей с автомагистралей. Эта эвакуация принудительная и бесплатная, и обслуживается специальной службой дорожного реагирования, входящей в состав полиции Сингапура. Такой подход минимизирует риск затора, а также позволяет водителям сломавшихся автомобилей безопасно получить помощь, например грузовик с отбойником, который отразит удар зазевавшегося или не успевшего перестроиться автомобиля.

Сингапурская система определения «зеленой волны» GLIDE и система информирования на автомагистралях EMAS значительно увеличивают эффективность автотранспортной системы города. Вместе они вносят значительный вклад в динамику международного финансового центра планеты, где минуты простоя в пробках могут стоить репутации города десятки и сотни миллионов долларов инвестиций.

Интеллектуальная транспортная система (ИТС, англ. Intelligent transportation system) – это такая интеллектуальная система, которая использует инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами [14].

Кроме Сингапура зарубежный опыт внедрения ИТС, обеспечивающих

возможность организации «зеленой волны» принадлежит Японии (система автомобильной информации и связи), США (DSRC - односторонний или двусторонний беспроводной канал связи, а также набор протоколов и стандартов, который специально предназначен для автомобильного использования) и Китаю (единая система проезда Octopus, единая система управления светофорами, которая управляет транспортными и пешеходными светофорами с помощью сенсорных проводов, расположенных под асфальтом).

UTOPIA – Urban Traffic Optimization by Integrated Automation, (Мауро, 1989) [15] гибридная система управления дорожным движением, которая объединяет онлайн динамическую оптимизацию и офлайн оптимизацию. Это достигается за счет построения иерархической системы, которая включает в себя локальный и сетевой уровни. Сетевой контроллер генерирует рекомендованный план, а локальные контроллеры адаптируют его и динамически координируют сигналы на соседних перекрестках. Чтобы автоматизировать процесс обновления фиксированного плана переключения сигналов светофора, был разработан модуль AUT. Этот модуль постоянно собирает данные с детекторов транспорта по всей сети. Для вычисления типичных потоков для каждого времени суток данные обрабатываются, и подготавливаются для расчета новых планов координации. Преимущества, полученные в результате применения UTOPIA, показывают увеличение скорости ТС в среднем на 15%.

SCATS – Sydney Coordinated Adaptive Traffic System (Люк, 1984) [15], вероятно, наиболее продвинутая и широко используемая система управления дорожным движением. SCATS была разработана органом дорог и дорожного движения (Road and Traffic Authority, RTA) штата Новый Южный Уэльс в Австралии. Система подстраивает программы переключения светофорных сигналов в реальном времени в зависимости от колебаний транспортного потока и пропускной способности дорожной сети. Она принимает решение на основе информации от транспортных детекторов, расположенных на

каждой полосе непосредственно перед стоп-линией у перекрестков. SCATS состоит из 3х уровней управления: центральный, региональный и локальный. Для каждого перекрестка, система распределяет вычисления между региональными компьютерами в центре вычислений трафика и дорожными контроллерами. Центральный уровень управляется центральным компьютером, который взаимодействует с другими уровнями, в первую очередь в целях мониторинга. SCATS комбинирует адаптивное управление сигналами светофора с обычными методами управления. Такой подход позволяет удовлетворить различные эксплуатационные потребности системы. Методы управления включают в себя: адаптивные алгоритмы, координация по времени дня и дням недели, управление изолированным перекрестком.

Выводы по разделу три

Международный опыт показал, что первый пуск системы определения «зеленой волны», Green Link Determining System (GLIDE) состоялся в Сингапуре в 1988 году. На данный момент система работает в 18 районах города из 28, управляя в общей сложности 2200 перекрестками. Критерием контроля пропускной способности в GLIDE является параметр Level Of Service (LOS), определяемый в секундах задержки автомобиля на перекрестке.

Expressway Monitoring Advisory System (EMAS) – система дорожного информирования об обстановке на автомагистралях. Эта система собирает информацию о происшествиях с помощью J-Eye камер (панорамные камеры).

Система UTOPIA – гибридная система управления дорожным движением, которая объединяет онлайн динамическую оптимизацию и офлайн оптимизацию.

Система SCATS была разработана в Австралии. Она принимает решение на основе информации от транспортных детекторов, расположенных на

каждой полосе непосредственно перед стоп-линией у перекрестков.

Все рассмотренные в данном разделе интеллектуальные системы завязаны на мониторинге реальной дорожной ситуации и принятии решения относительно времени включения зеленого сигнала светофора.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА «ЗЕЛеноЙ ВОЛНЫ» С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ В ОЖИДАНИИ НАЧАЛА ДВИЖЕНИЯ

Координированное управление дорожным движением предполагает последовательную работу ряда светофорных объектов. Преимущества данной автоматической системы управления заключаются в сокращении задержки транспортных средств, уменьшении числа неоправданных остановок и торможений в потоке. Координация движения происходит за счет включения на последующем перекрестке по отношению к предыдущему зеленого сигнала с некоторым сдвигом, длительность которого зависит от времени движения транспортных средств между этими перекрестками. Двигаясь с одинаковой заданной скоростью, автомобили прибывают к перекрестку в момент включения разрешающего сигнала светофора в данном направлении. Данный способ координации работы светофорных объектов называется «зеленой волной» [16].

В нашей стране координированное управление было впервые успешно реализовано в 1955 г. в Москве на участке Садового кольца с пятью светофорными объектами. В настоящее время этот способ управления широко применяется почти во всех крупных городах и является основным алгоритмом, реализуемым в рамках АСУД.

Для организации координированного управления необходимо выполнение следующих условий: наличие не менее двух полос для движения в каждом направлении; одинаковый или кратный цикл регулирования на всех перекрестках, входящих в систему координации; транзитность потока должна быть не менее 70%; расстояние между соседними перекрестками не должно превышать 800 м.

Широкая проезжая часть позволяет транспортным средствам объезжать возможные препятствия на дороге, а, следовательно, двигаться без остановки с расчетной скоростью и своевременно прибыть к очередному перекрестку.

Одинаковый или кратный цикл регулирования на всех перекрестках необходим для расчета периодичности включения разрешающего сигнала светофорного объекта. Транзитность потока означает преобладание на рассматриваемой магистрали потоков прямого направления для повышения эффективности координированного управления. Расстояние между соседними перекрестками влияет на процесс группообразования в транспортном потоке. Группа автомобилей распадается по мере движения из-за увеличивающегося разброса скоростей. Этот процесс прогрессирует по мере удаления группы от предыдущего перекрестка, время проезда группы увеличивается, ее средняя интенсивность падает.

В целях разработки методики расчета «зеленой волны» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения, координированное движение транспортных средств будет обеспечено по проспекту Победы от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев. Расстояние между перекрестками от ул. Чайковского до ул. Молодогвардейцев значительно превышает рекомендуемое значение 800 м. Поэтому в рамках работы, во-первых, предлагается установка динамических знаков рекомендуемой скорости, которые изменяются в зависимости от времени суток и плотности потока, во-вторых, рекомендуется между этими перекрестками организовать светофорный объект. Ключевым перекрестком будет пересечение пр-та Победы и ул. Молодогвардейцев, поскольку данный перекресток имеет наибольшую загруженность и затрудненные условия его пересечения. При координированном управлении длительность цикла на всех перекрестках должна быть одинаковой, поэтому в качестве расчетного принимают цикл ключевого перекрестка. Для достижения задач дипломной работы в первой фазе движения транспортных средств на встречных направлениях запрещается левый поворот. Пешеходы проходят половину дорожного полотна до островка безопасности. С учетом этого, схема существующей организации движения на ключевом перекрестке представлена в Приложении А.

4.1 Цикл работы светофорного объекта

В общем случае цикл работы светофорного объекта по формуле 1 складывается из продолжительности основных тактов всех направлений разрешенного движения и промежуточных тактов, включаемых между основными, с целью предоставления возможности транспортным средствам, пешеходам и трамваям завершить проезд перекрестка (пересечение проезжей части) до момента начала движения транспортного потока иного направления [17].

где T – длительность цикла;

$t_{осн}$ – продолжительность основных тактов всех направлений разрешенного движения;

$t_{пр}$ – продолжительность промежуточных тактов всех направлений разрешенного движения.

Продолжительность промежуточных тактов всех направлений разрешенного движения принимаем равной 3 с.

Для расчета основного такта, первое, по формуле 2 нужно определить количество транспортных средств, прибывающих к перекрестку за час по одному направлению.

где I – часовая интенсивность исследуемого направления движения транспортных средств.

Количество транспортных средств, прибывающих к перекрестку проспект Победы – улица Молодогвардейцев, учитывалось исходя из того, что все транспортные средства проезжают без образования заторов. Для этого часовая интенсивность замерялась по количеству машин, которые едут прямо, по проспекту Победы от ул. Чайковского и от ул. 40-летия Победы, по ул. Молодогвардейцев от Комсомольского проспекта и от ул. Братьев Кашириных (таблица 6).

Таблица 6 – Пофазная интенсивность транспортных потоков

Направление движения	Количество автомобилей в час
1 фаза	
По проспекту Победы со стороны ул. Чайковского	3540
По проспекту Победы со стороны ул. Ворошилова	1524
2 фаза	
По ул. Молодогвардейцев со стороны ул. Братьев Кашириных	1292
3 фаза	
По ул. Молодогвардейцев со стороны Комсомольского пр-та	1058

В таблице 6 представлены данные из наблюдений за интенсивностью транспортных потоков в первой, второй и третьей фазах, пересекающих перекресток за 1 час. Самое интенсивное направление – по проспекту Победы со стороны улицы Чайковского.

Замеры производились в период с 17.00 до 18.00 часов. Пофазный разъезд представлен в Приложении Б. Картограмма интенсивности транспортных потоков изображена на рисунке 15.

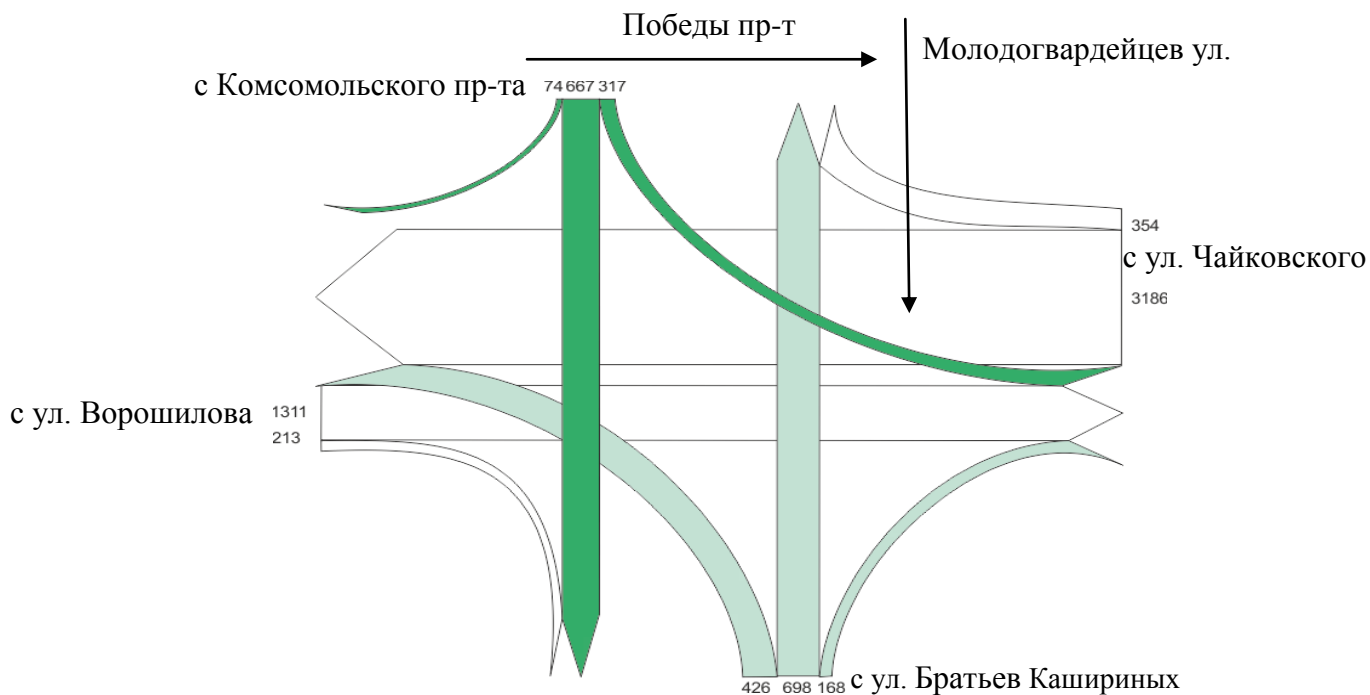


Рисунок 15 – Картограмма интенсивности

Исследование движения на перекрестке во 2ой и 3ей фазах показало, что автомобили по всем полосам движения движутся с одинаковой скоростью. Транспортные средства, движущиеся по ул. Молодогвардейцев и пересекающие трамвайные пути по диагонали, получают меньше вреда от рельсов, чем те, которые движутся прямо. То есть машины, движущиеся налево и (или) направо, не создают помех для движущихся прямо из одной полосы движения. Скорее те, кто едет прямо, снижают скорость при пересечении перекрестка. Поэтому подход, когда для случая движения транспортных средств прямо, а также налево и (или) направо по одним и тем же полосам движения, если интенсивность лево- и правоповоротного потоков составляет более 10% общей интенсивности движения в рассматриваемом направлении данной фазы поток насыщения корректируется (формула Ф. Вебстера), не используется.

Следовательно, светофорный цикл рассчитывается по каждой фазе исходя из общей интенсивности движения транспортных средств.

Время, необходимое данному транспортному средству для получения права въезда на перекресток, напрямую зависит от расстояния, которое ему

необходимо преодолеть с момента возобновления движения на разрешающий сигнал светофора до момента включения запрещающего сигнала. Место расположения последнего в очереди автомобиля от границы пересекаемой проезжей части определяется по формулам 3, 4:

где n – количество автомобилей на одной полосе движения, подъехавших к перекрестку за время одного цикла работы светофорного объекта;

l – средняя длина легкового автомобиля (в расчетах принимается равной 4,5 м);

d – средняя дистанция между автомобилями, стоящими перед перекрестком на запрещающий сигнал светофора (в расчетах принимается равной 1 м);

x_0 – расстояние от «стоп-линии» (расположение первого автомобиля в очереди) до ближайшей границы пересекаемой проезжей части.

—

где I – интенсивность транспортного потока исследуемого направления за время цикла;

s – количество полос, предназначенных для движения в данном направлении.

С учетом темпа разгона и задержки перед началом движения, i -ый в очереди на конкретной полосе автомобиль достигнет места, дающего ему право на продолжение движения через перекресток через t_i , с, рассчитанное по формулам 5, 6 и 7.



где x_0 – место расположения ТС относительно границы, по достижению которой водитель ТС не располагает технической возможностью остановиться и получает право продолжить движение через перекресток;

a - ускорение автомобиля (для практических расчетов принимается 1,5 м/с²);

t_0 – время задержки начала движения последнего в очереди автомобиля.

где $t_{ср}$ – средняя продолжительность времени задержки начала движения каждого автомобиля, находящегося в очереди (в расчетах принимается равной 1 с).



где v_0 – средняя скорость транспортного средства, последнего в очереди, достигнутая им к моменту включения запрещающего сигнала светофора (в расчетах принимается равной 36 км/ч);

t_1 – среднее замедление ТС при включении запрещающего (желтого);

t_2 – время реакции водителя ТС в сложившейся дорожно-транспортной ситуации, с (для практических расчетов принимается 0,6 с);

t_3 – время запаздывания срабатывания тормозного привода ТС, с (для практических расчетов принимается 0,1 с);

t_4 – время нарастания замедления ТС в данных дорожных условиях, с

(для практических расчетов принимается 0,35 с).

Принимая во внимание тот факт, что часовая интенсивность самого нагруженного направления исследуемого перекрестка (по пр-ту Победы со стороны ул. Чайковского) составляет 3540 автомобилей при 4х полосах движения, а интенсивность встречного направления (по пр-ту Победы со стороны ул. Ворошилова) – 1524 автомобилей при 3-х, максимальная часовая интенсивность составит 118 автомобилей:

При этом последний, стоящий в очереди автомобиль на одной из полос данного направления движения, будет располагаться от ближайшей границы пересекаемой проезжей части на расстоянии 184,85 метров:

Задержка начала движения данного автомобиля после момента включения для него разрешающего сигнала светофора, составит 29,5 с:

Расстояние, которое предстоит преодолеть последнему автомобилю, который начал движение на разрешающий сигнал светофора и получает право пересечь перекресток при включении запрещающего (желтого) сигнала светофора, составляет 19,6 метров. Это значение принимается для каждой фазы движения на исследуемом перекрестке:

Таким образом, крайнему автомобилю, прибывшему за время полного цикла работы светофорного объекта на одну из полос данного направления движения, с момента включения для него разрешающего сигнала до момента достижения им границы, позволяющей продолжить движение после включения запрещающего сигнала, потребуется 45 секунд:

Время цикла в данной фазе сократится при организации движения по методу «зеленой волны». При полученной максимальной часовой интенсивности на одной полосе движения по проспекту Победы со стороны улицы Чайковского будут располагаться 30 автомобилей. Учитывая, что средняя длина автомобиля 4,5 метра, а дистанция между соседними автомобилями при скорости 50 км/ч составляет 10 метров, последний автомобиль, стоящий в очереди на одной из полос данного направления движения идвигающийся в «зеленой волне» преодолевает расстояние, равное 435 метров за 32 секунды. Если учесть время сдвига включения зеленого сигнала на 8,8 с, цикл составит 41 секунду. Задержки начала движения последнего в очереди автомобиля нет.

На исследуемом перекрестке расстояние от «стоп-линии» до ближайшей границы пересекаемой проезжей части принимает разные значения в зависимости от направления. Исходя из этого, целесообразно рассчитать время цикла для 2ой и 3ей фаз согласно формулам выше, не прибегая к методу фазовых коэффициентов.

За время основного такта трамвай имеет возможность без задержки преодолеть перекресток. При расчете продолжительности основного такта корректировка на возможность трамвая преодолеть перекресток не производится.

Часовая интенсивность направления по ул. Молодогвардейцев со стороны ул. Братьев Кашириных составляет 1292 автомобиля при 4-х полосах движения во 2ой фазе движения, следовательно, максимальная часовая интенсивность составит 44 автомобиля:

При этом последний, стоящий в очереди автомобиль на одной из полос данного направления движения, будет располагаться от ближайшей границы

пересекаемой проезжей части на расстоянии 99,3 метра:

Задержка начала движения данного автомобиля после момента включения для него разрешающего сигнала светофора, составит 11 с:

Таким образом, крайнему автомобилю, прибывшему за время полного цикла работы светофорного объекта на одну из полос данного направления движения, с момента включения для него разрешающего сигнала до момента достижения им границы, позволяющей продолжить движение после включения запрещающего сигнала, потребуется, 22 секунды:

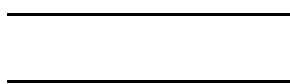
Часовая интенсивность направления По ул. Молодогвардейцев со стороны Комсомольского пр-та (3-я фаза) составляет 1058 автомобиля при 3-х полосах движения, следовательно, максимальная часовая интенсивность составит 36 автомобилей:

При этом последний, стоящий в очереди автомобиль на одной из полос данного направления движения, будет располагаться от ближайшей границы пересекаемой проезжей части на расстоянии 101,4 метра:

Задержка начала движения данного автомобиля после момента включения для него разрешающего сигнала светофора, составит 12 с:

Таким образом, крайнему автомобилю, прибывшему за время полного цикла работы светофорного объекта на одну из полос данного направления движения, с момента включения для него разрешающего сигнала до момента достижения им границы, позволяющей продолжить движение после

включения запрещающего сигнала, потребуется, 23 секунды:



Теперь можем рассчитать суммарную продолжительность всех основных тактов цикла работы светофорного объекта по формуле 8. Для первого случая она составит 90 секунд, для второго – 86 с.

где T_{Σ} – суммарная продолжительность всех основных тактов цикла работы светофорного объекта;

- продолжительность основного такта в первой фазе;
- продолжительность основного такта во второй фазе;
- продолжительность основного такта в третьей фазе.

Корректировка основных тактов фаз работы светофорного объекта не производится, время считать достаточным, поскольку на практике водителям во 2-ой фазе необходимо больше времени для пересечения проезжей части. Они останавливаются раньше окончания разрешающего такта, в промежуточный уже стоят, несмотря на то, что могли продолжить движения, имея право закончить маневр. Это связано с рельефом дороги (подъем в гору, трамвайные пути) и психологическими факторами (боязнь не успеть преодолеть значительное расстояние от стоп-линии до границы въезда на перекресток и, собственно, его пересечь).

Продолжительность промежуточного такта стандартная и равна 3 секундам. Следуя сложившейся практике, данная продолжительность промежуточного такта является достаточной и может быть принята для дальнейших расчетов. Так, с учетом 3-х фазной работы светофорного объекта общая продолжительность промежуточных тактов составит 9 секунд.

Общее время цикла светофорного объекта по формуле 9 составит 99 секунд при обычной организации движения и 95 секунд при координированном управлении движением.

где T – время цикла светофорного объекта;

$T_{\text{общ}}$ – общая продолжительность промежуточных тактов.

В приложении В представлены два варианта диаграмма работы светофорного объекта.

4.2 Графоаналитический метод построения расчета «зеленой волны»

Для расчета программы координации используется графоаналитический метод. Сущность метода заключается в построении графика, по оси абсцисс которого отмечается путь, а по оси ординат – время.

Исходными данными для расчета являются: план магистрали с обозначением расстояний между перекрестками и значение расчетной скорости движения для магистрали (рисунок 16).

В целях разработки методики расчета «зеленой волны» с учетом транспорта, находящегося на перекрестке в ожидании начала движения, координированное движение транспортных средств будет обеспечено по проспекту Победы от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев.

Ключевым перекрестком будет пересечение пр-та Победы и ул. Молодогвардейцев.

Для достижения задач дипломной работы в первой фазе движения транспортных средств на встречных направлениях запрещается левый поворот.

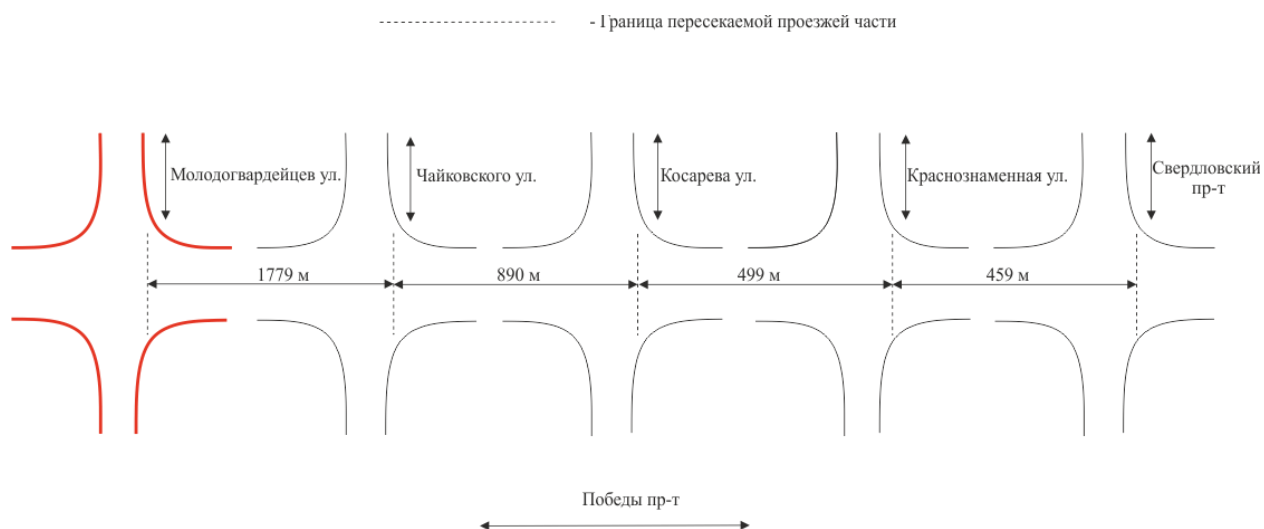


Рисунок 16 – План магистрали

При построении графика «зеленой волны» необходимо учитывать автомобили, подъехавшие к перекрестку с прилегающих территорий или повернувшие с примыкающих дорог. Эти машины должны успеть покинуть его для безостановочного проезда автомобилей, движущихся с предыдущего перекрестка. Согласно данным практических наблюдений за время запрещающего сигнала на перегоне образуется очередь из 10 таких автомобилей. Исходя из количества полос на ключевом перекрестке в направлении к улице Ворошилова, на одной полосе находятся 2-3 автомобиля. Допустим, что на полосе прямого направления находится 3 автомобиля. Последний в очереди автомобиль по формуле 10 должен достигнуть расчетной, общепринятой, скорости 50 км/ч через 4,6 с.

где v – скорость;
 a – ускорение.

Расстояние, которое он преодолеет до разгона, по формуле 11 составляет 16 м (рисунок 17).

где t – время для разгона до скорости 50 км/ч;

a – ускорение.

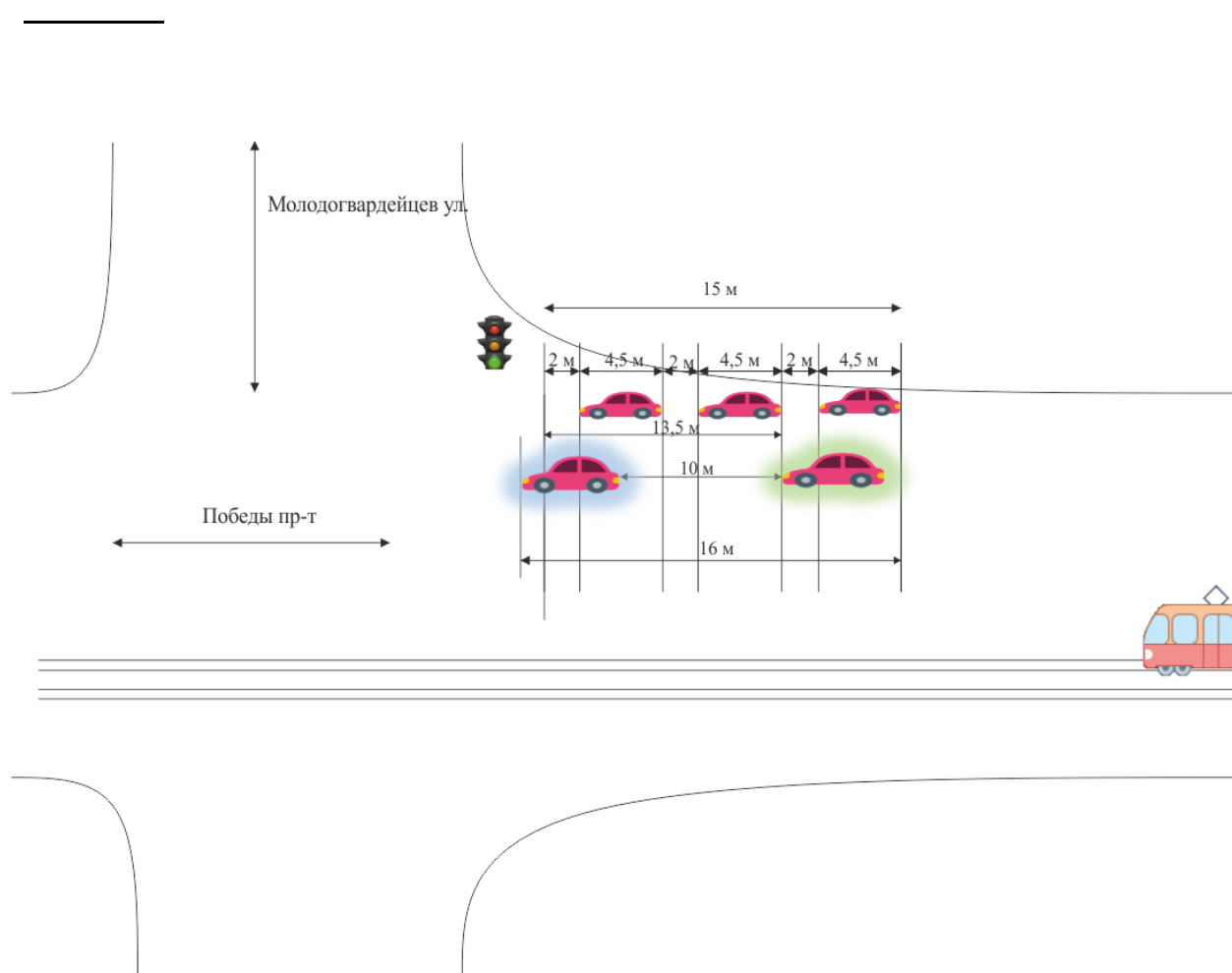


Рисунок 17 – Схема движения в «зеленой волне» на перекрестке

При этом третий автомобиль начнет двигаться через 3 секунды после включения зеленого сигнала (средняя продолжительность времени задержки начала движения каждого автомобиля, находящегося в очереди составляет 1

с). Таким образом, крайний автомобиль придет в движение и достигнет скорости 50 км/ч с учетом времени задержки через 7,6 с:

В расчетах за безопасную дистанцию между автомобилями, достигшими расчетной скорости координированного движения, ориентировочно принимается значение 10 метров. Учитывая это, длину автомобиля и расстояние от передней части автомобиля до стоп-линии, догоняющий автомобиль будет располагаться на расстоянии 13,5 м от стоп-линии:

Полученный путь автомобиль, который движется в «зеленой волне» от улицы Чайковского, преодолет за 1 с:

В таком случае, суммируя вышесказанное, получаем сдвиг включения зеленого сигнала на каждом перекрестке на 8,6 с. За это время автомобиль третий автомобиль преодолевает расстояние 120 метров.

График координированного управления движением по проспекту Победы от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев представлен на рисунке 18.

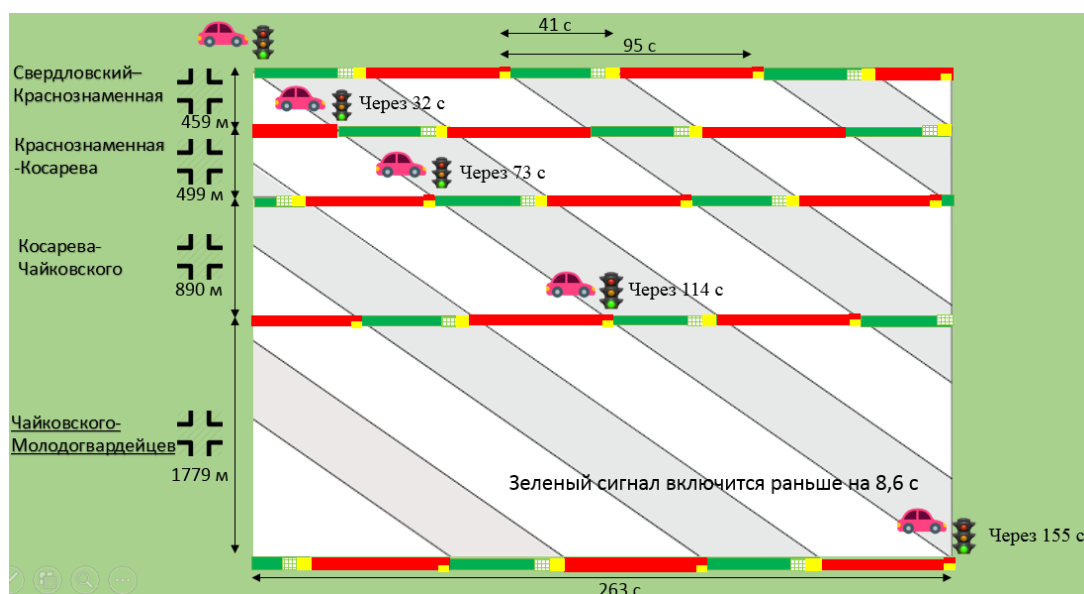


Рисунок 18 – График координированного управления движением

Для графика выбран масштаб 1:20000 м. По оси абсцисс отмечены расстояния между перекрестками, попадающими в «зеленую волну», а по оси ординат отмечено время из соотношения 1 м – 0,05 секунд. Время, которое необходимо автомобилю для преодоления каждого перекрестка от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев, двигаясь со скоростью 50 км/ч, составляет соответственно 33, 36, 64 и 190 секунд, что в сумме составляет 263 секунды. Одинаковый для каждого перекрестка светофорный цикл составляет 95 секунд. С учетом рассчитанного выше сдвига включения зеленого сигнала, разрешающий такт на каждом следующем перекрестке включается через 32 с, 73 с, 114 с и 155 с после того как автомобиль начинает двигаться от Свердловского проспекта.

Выводы по разделу четыре

Координированное движение транспортных средств обеспечено по проспекту Победы от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев. Ключевым перекрестком является пересечение пр-та Победы и ул. Молодогвардейцев.

Светофорный цикл ключевого перекрестка сокращается при координированном управлении движением на магистрали. Изначальный расчет цикла показал значение 99 секунд. При пересчете с учетом беззатормозного проезда транспортных средств, цикл работы светофорного объекта сократился до 95 секунд.

Предлагаемая методика расчета «зеленой волны» предполагает, что за время запрещающего такта к перекрестку могут подъезжать автомобили с прилегающих территорий или примыкающих дорог. Эти машины должны успеть покинуть его для безостановочного проезда автомобилей, движущихся с предыдущего перекрестка. Расчет показал, что сдвиг включения зеленого сигнала на каждом перекрестке составляет 8,6 с. С учетом этого, разрешающий такт на каждом следующем перекрестке

включается через 32 с, 73 с, 114 с и 155 с после того как автомобиль начинает двигаться от Свердловского проспекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первом разделе проанализированы мировые показатели автомобилизации. По данным Международной организации производителей автомобилей (ОИСА) общее число находящихся в эксплуатации машин в мире на конец 2015 года составляет 1,282 млрд автомобилей. Уровень автомобилизации в мире за период с 2010 года по 2015 год увеличился на 40%. Рейтинг городов с самым высоким уровнем загруженности на 2017 г. возглавляет Лос-Анджелес, где водитель в среднем тратит 102 часа, двигаясь в час пик, в Москве и Нью-Йорке – 91 час. Таиланд, второй год подряд возглавляет рейтинг стран с самым высоким средним количеством часов, потраченных в час пик – 56 часов.

Количество автомобилей в России за последние 8 лет увеличилось на 9,8 млн, а уровень автомобилизации возрос на 26%.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что уровень автомобилизации продолжает расти, возникает потребность в увеличении пропускной способности дорожной сети. С каждым годом увеличивающееся количество машин создает множество проблем, связанных с организацией дорожного движения, которые требуют своевременного их решения. И одним из негативных факторов растущей автомобилизации является уровень аварийности.

В разделе 2 на рисунке 9 видно, что тяжесть последствий ДТП наибольшая при выезде ТС на полосу встречного движения и при нарушении скоростного режима. Программа координированного управления дорожным движением или «зеленая волна» предполагает единую расчетную скорость для потока автомобилей. Данное условие является обязательным для беззаторного проезда, а также может снизить смертность в аварии при несоответствии скорости конкретным условиям движения или ее превышения.

Международный опыт показал, что первый пуск системы определения

«зеленой волны», Green Link Determining System (GLIDE) состоялся в Сингапуре в 1988 году. На данный момент система работает в 18 районах города из 28, управляя в общей сложности 2200 перекрестками. Критерием контроля пропускной способности в GLIDE является параметр Level Of Service (LOS), определяемый в секундах задержки автомобиля на перекрестке.

Expressway Monitoring Advisory System (EMAS) – система дорожного информирования об обстановке на автомагистралях. Эта система собирает информацию о происшествиях с помощью J-Eye камер (панорамные камеры).

Система UTOPIA – гибридная система управления дорожным движением, которая объединяет онлайн динамическую оптимизацию и офлайн оптимизацию.

Система SCATS была разработана в Австралии. Она принимает решение на основе информации от транспортных детекторов, расположенных на каждой полосе непосредственно перед стоп-линией у перекрестков.

Все рассмотренные в данном разделе интеллектуальные системы завязаны на мониторинге реальной дорожной ситуации и принятии решения относительно времени включения зеленого сигнала светофора.

Координированное движение транспортных средств обеспечено по проспекту Победы от Свердловского проспекта до улицы Молодогвардейцев. Ключевым перекрестком является пересечение пр-та Победы и ул. Молодогвардейцев.

Светофорный цикл ключевого перекрестка сокращается при координированном управлении движением на магистрали. Изначальный расчет цикла показал значение 99 секунд. При пересчете с учетом беззаторного проезда транспортных средств, цикл работы светофорного объекта сократился до 95 секунд.

Предлагаемая методика расчета «зеленой волны» предполагает, что за время запрещающего такта к перекрестку могут подъезжать автомобили с прилегающих территорий или примыкающих дорог. Эти машины должны

успеть покинуть его для безостановочного проезда автомобилей, движущихся с предыдущего перекрестка. Расчет показал, что сдвиг включения зеленого сигнала на каждом перекрестке составляет 8,6 с. С учетом этого, разрешающий такт на каждом следующем перекрестке включается через 32 с, 73 с, 114 с и 155 с после того как автомобиль начинает двигаться от Свердловского проспекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Кузин, Ф. А. Магистерская диссертация: Методика написания, правила оформления и порядок защиты [Текст]: Практик. пособие для студентов-магистрантов / Ф. А. Кузин. - М.: Ось-89, 1999. - 302 с.

2 Международная организация производителей автомобилей – <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>.

3 INRIX Global Traffic Scorecard. INRIX Research Graham Cookson February 2018.

4 Автостат. Аналитическое агентство – <https://www.autostat.ru>.

5 Росстат – <http://www.gks.ru>.

6 Глобальное бремя болезней – https://ru.wikipedia.org/wiki/Глобальное_бремя_болезней.

7 Всемирная организация здравоохранения – <https://www.who.int/ru/news-room/detail/07-12-2018-new-who-report-highlights-insufficient-progress-to-tackle-lack-of-safety-on-the-world's-roads>.

8 Пулитцеровский центр. Статистика смертности в ДТП в разных странах – <http://roadskillmap.com>.

9 Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 12 месяцев 2018 года. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2018, 18 с.

10 Индекс глобальной конкурентоспособности стран – https://ru.wikipedia.org/wiki/Индекс_глобальной_конкурентоспособности#Отчет_за_2018_год.

12 Транспорт в Сингапуре – https://ru.wikipedia.org/wiki/Транспорт_в_Сингапуре.

11 Виды транспорта в Сингапуре – <http://emigranto.ru/strany-azii/singapur/transport-v-singapore.html>.

13 Город без пробок. Шаг 3: Зеленая волна –

<https://varlamov.ru/1248430.html>.

14 Костомарова В.В. © Бакалавр кафедры логистики ИОМ, ГУУ, Москва
Зарубежный опыт внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС)
– <https://publikacia.net/archive/2016/4/1/27>.

15 сравнительный анализ аппаратно-программных средств управления
дорожным движением А.Ю. Титов Московский физико-технический
институт – <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/8864.pdf>.

16 Технические средства организации дорожного движения: Учебник для
вузов / Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. – М.: ИКЦ
«Академкнига», 2005. – 279 с.: ил.

17 Организация дорожного движения. Расчет беззаторного проезда узла
улично-дорожной сети: учебное пособие / В.А. городокин, И.Д. Алферова –
Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015 – 39 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А



Рисунок 1 – Схема организации движения
на перекрестке пр-т Победы – ул. Молодогвардейцев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

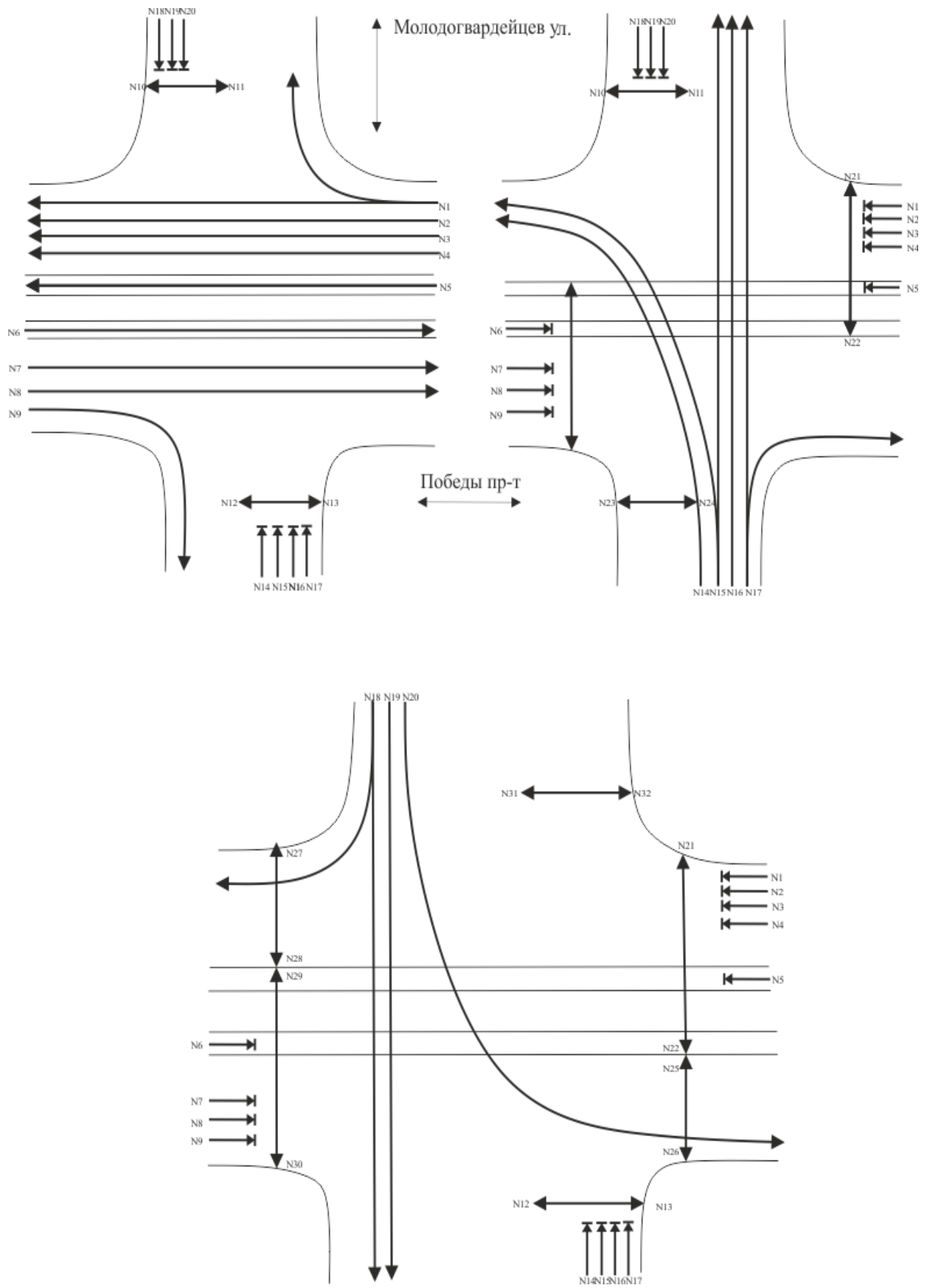


Рисунок 2 – Пофазный разъезд

ПРИЛОЖЕНИЕ В

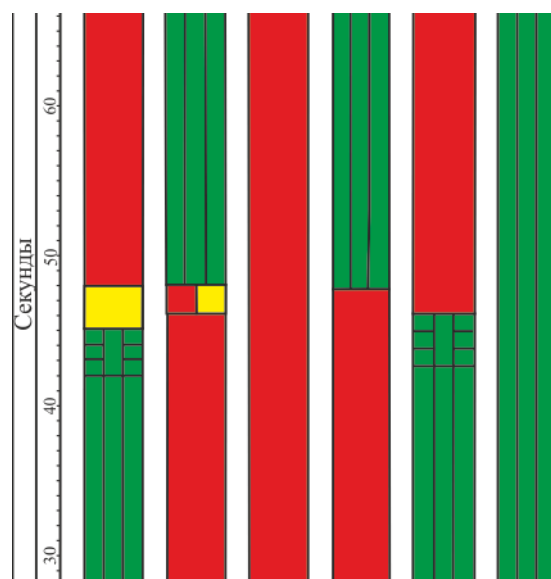


Рисунок 3 – Диаграмма работы
светофорного объекта 1

Продолжение приложения В

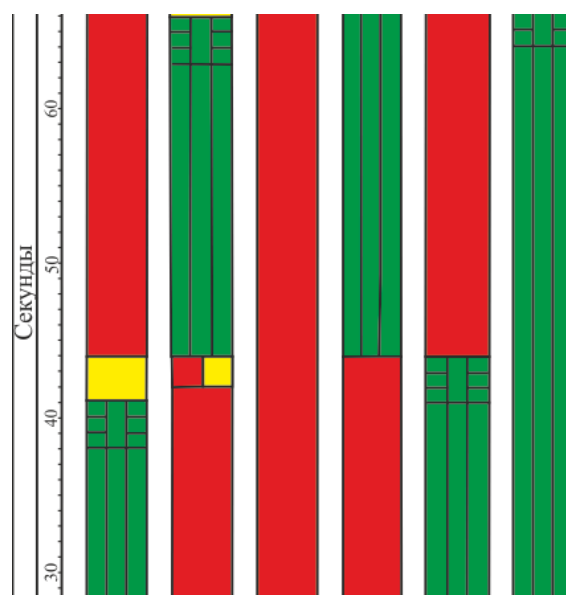


Рисунок 4 – Диаграмма работы
светофорного объекта 2