

УДК 656.131

DOI: 10.46960/2782-5477_2023_3_12

С.В. Колганов, Р.Н. Сафронов
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ
ВВЕДЕНИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ ПОЛОС ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ
ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Иркутск, Россия

Произведено моделирование с варьированием показателей транспортного потока, с целью выявления возможных результатов целесообразности введения выделенной полосы для общественного транспорта. В качестве инструмента оптимизации работы общественного транспорта выбрано введение выделенной полосы, предполагающей создание обособленной от остальных транспортных средств полосы движения с возможными определенными условиями, например, специальное светофорное регулирование или определенное время действия (время суток или дни недели). Актуальность работы определяется тем, что многофакторное моделирование ситуации на дорогах общего пользования позволит наиболее точно просчитать варианты целесообразности введения выделенной полосы и подобрать необходимые условия ее функционирования.

Ключевые слова: выделенная полоса, общественный транспорт, улично-дорожная сеть, пассажирские перевозки, моделирование, организация дорожного движения.

Одной из наиболее распространенных причин перегруженности улиц и дорог общего пользования в городах является игнорирование перспектив развития инфраструктуры при принятии градостроительных решений. Развитие городов ведет к появлению новых грузо- и пассажирообразующих пунктов. Спрос на улично-дорожные сети (УДС) возрастает, пропускная способность отстает в развитии, пассажиры тратят все больше времени на перемещение [1, 2]. В таких случаях целесообразно рассмотреть возможность введения преимуществ в движении для общественного транспорта (ОТ) на особо загруженных участках улиц. Такие преимущества прямо предусмотрены правилами дорожного движения [3] и называются «полоса для маршрутных транспортных средств». По сути, речь идет о выделенных полосах (ВП), которые могут и должны сочетаться с приоритетным проездом перекрестков.

Данный круг проблем характерен для г. Иркутска. В часы пик и в межпиковые периоды наблюдаются серьезные затруднения в движении, как индивидуального транспорта (ИТ), так и ОТ, особенно, в центральной части города [4]. Для проведения исследований была выбрана одна из наиболее загруженных улиц, расположенная в центре Иркутска: ул. Дзержинского. Она имеет три полосы и по ней организовано одностороннее движение. Она имеет три наиболее характерных участка:

- 1) от ул. Ленина – до ул. Литвинова;
- 2) от ул. Литвинова – до ул. Чехова;
- 3) от ул. Чехова – до ул. Карла Либкнехта.

Исследования проводились в будние дни в течении двух часов: в пиковое (7:00-9:00, 17:00-19:00) и межпиковое время (13:00-15:00), не менее трех раз, не реже, чем раз в неделю. Сбор данных об интенсивности движения ОТ и ИТ осуществлялся на каждом участке улицы. Результаты исследований по участкам показали, что все они имеют схожую тенденцию изменения ряда показателей в течении суток.

Показатели наполняемости ОТ оценивались путем видеофиксации на остановочных пунктах. Для ИТ среднее наполнение первоначально принималось равным 1,3 чел. [5], однако в дальнейшем было проведено специальное исследование. Кроме того, дополнительно прово-

дились замеры времени проезда ОТ и ИТ каждого участка. Также необходимо было смоделировать ситуацию, когда ВП уже введена. Для этого время проезда для ОТ определялось в период минимальной загруженности улицы ОТ и ИТ, в частности, поздним вечером.

При моделировании в качестве основных результирующих параметров использовались затраты времени всеми пассажирами ОТ (Z_{OT}) и ИТ (Z_{IT}) по каждому участку в соответствии с зависимостями (1) и (2).

Дальнейшие расчеты производились для двух вариантов:

- исходный вариант (до введения ВП) с использованием фактических показателей транспортного потока;
- проектируемый вариант (после введения ВП) с использованием варьируемых возможных показателей транспортного потока.

$$Z_{OT} = \frac{(I_{OT1} * A_1 + I_{OT2} * A_2 + I_{OT3} * A_3 + I_{OT4} * A_4) * \gamma_{OT} * T_{OT}}{60}, \quad (1)$$

где I_{OT} – количество ОТ разных классов вместимости, принимаемое согласно среднему статистическому значению, ед.;

$A_{1,2,3,4}$ – номинальная вместимость пассажиров для ОТ разных классов, пасс.;

γ_{OT} – коэффициент наполнения для ОТ;

T_{OT} – время на проезд исследуемого участка УДС пассажирами ОТ, мин.

$$Z_{IT} = \frac{I_{IT} * A_{IT} * \gamma_{IT} * T_{IT}}{60}, \quad (2)$$

где I_{IT} – количество ИТ, принимаемое согласно среднему статистическому значению, ед;

A_{IT} – номинальная вместимость пассажиров в ИТ, пасс.;

γ_{IT} – коэффициент наполнения для ИТ;

T_{IT} – время на проезд исследуемого участка УДС пассажирами ИТ, мин.

С использованием зависимостей (1) и (2) было проведено моделирование в часы пик и межпиковое время по трем участкам ул. Дзержинского. При этом параметры наполнения ИТ и ОТ изменялись относительно среднего значения, что позволило выявить область возможных значений суммарных затрат времени (рис. 1). На основе данного графика можно сделать вывод, что при фактических показателях, максимальное возможное количество пассажиров в ОТ и ИТ – одинаково, при этом затраты времени для пассажиров ИТ заметно больше, чем для пассажиров ОТ. Расчет времени, затрачиваемого пассажирами ОТ на проезд исследуемого участка в варианте с выделенной полосой производился по формуле, аналогичной варианту с фактическими показателями, за исключением T_{OT} , который принимается равным времени проезда ОТ в период наименьшей загруженности участка улицы (рис. 1.)

При условии, что при введении ВП количество полос для ИТ сократится на 1 единицу, при моделировании было учтено влияние увеличения затрат времени пассажиров ИТ на проезд соответствующего участка. Таким образом формула (2) примет следующий вид:

$$Z'_{IT} = \frac{I_{IT} * A_{IT} * \gamma_{IT} * K * T_{IT}}{60} \quad (3)$$

где Z'_{IT} – суммарное время на проезд исследуемого участка УДС пассажирами ИТ при наличии ВП, час;

K – коэффициент повышения затрат времени на проезд ИТ при введении ВП, вследствие сокращения числа полос проезжей части.

Диапазон и шаг изменения параметров в формулах затрат времени принимался следующим образом:

- K в области значений от 1 до 2 с шагом 0,1;
- γ_{IT} в области значений от 0 до 1 с шагом 0,1;
- γ_{OT} в области значений от 0 до 1,2 с шагом 0,1.

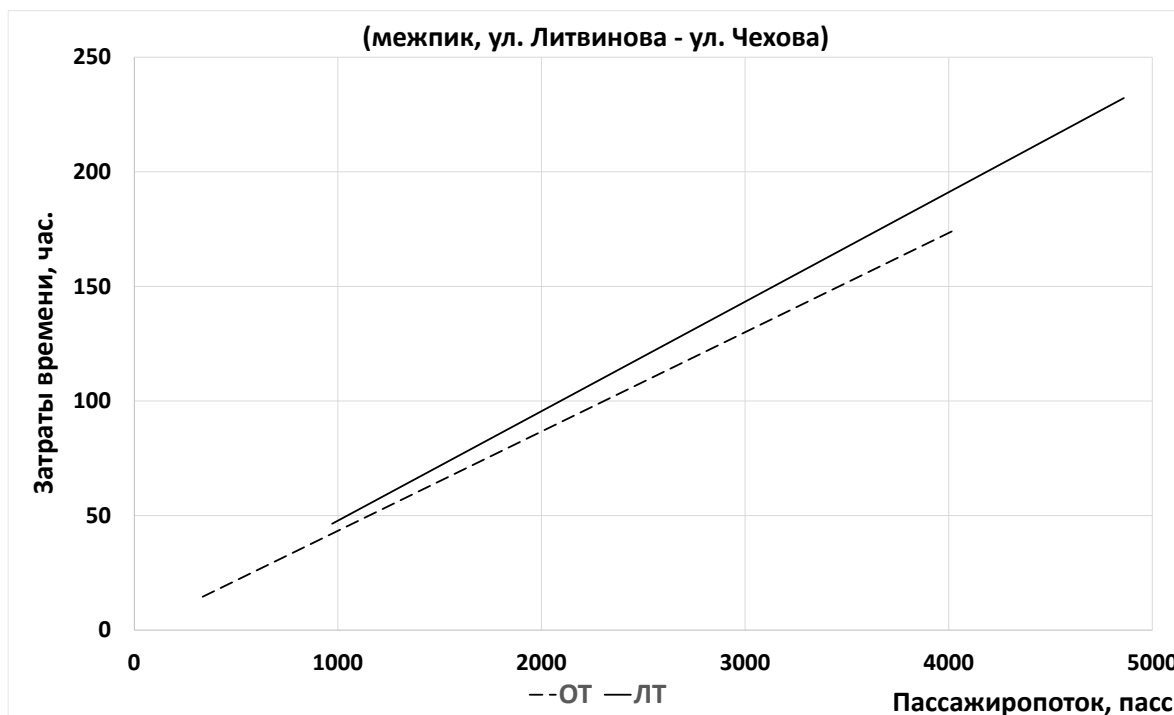


Рис. 1. Зависимость затрат времени от пассажиропотока для ИТ и ОТ на участке ул. Литвинова – ул. Чехова в час пик

Для часа пик по трем участкам ул. Дзержинского были получены соответствующие зависимости (рис. 2-4). Числовые обозначения графиков соответствуют принятому параметру K .

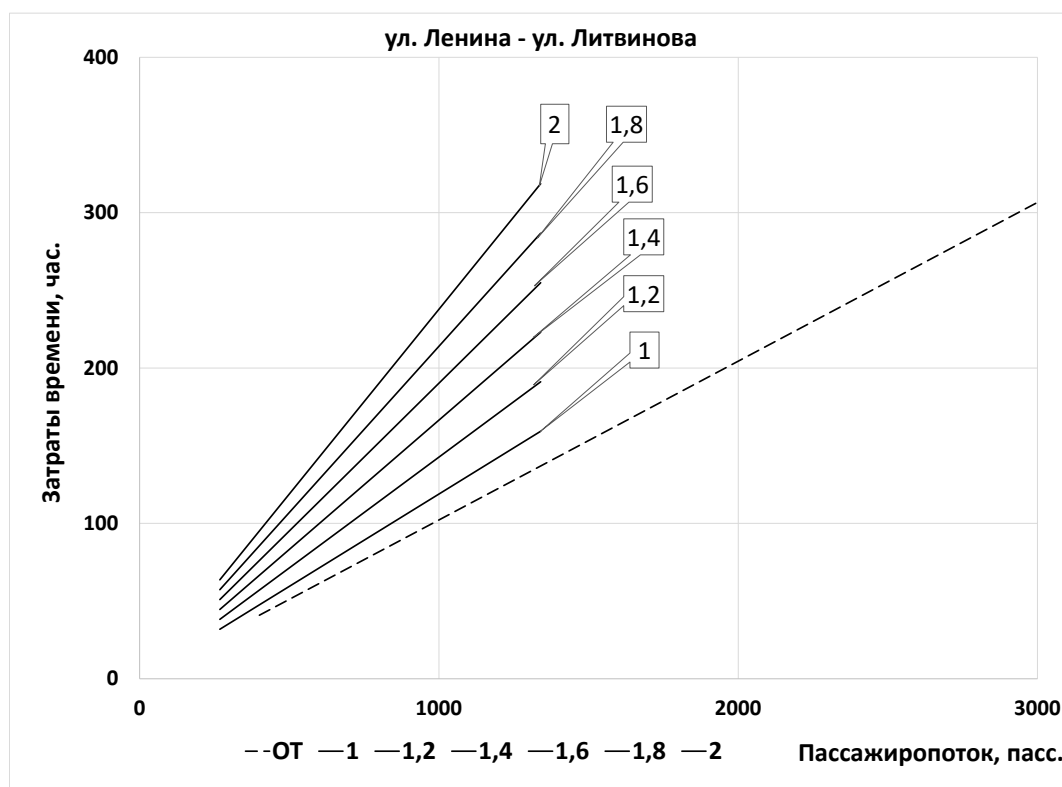


Рис. 2. Общая зависимость затрат времени от пассажиропотока на проезд ИТ и ОТ на участке ул. Ленина – ул. Литвинова в час пик

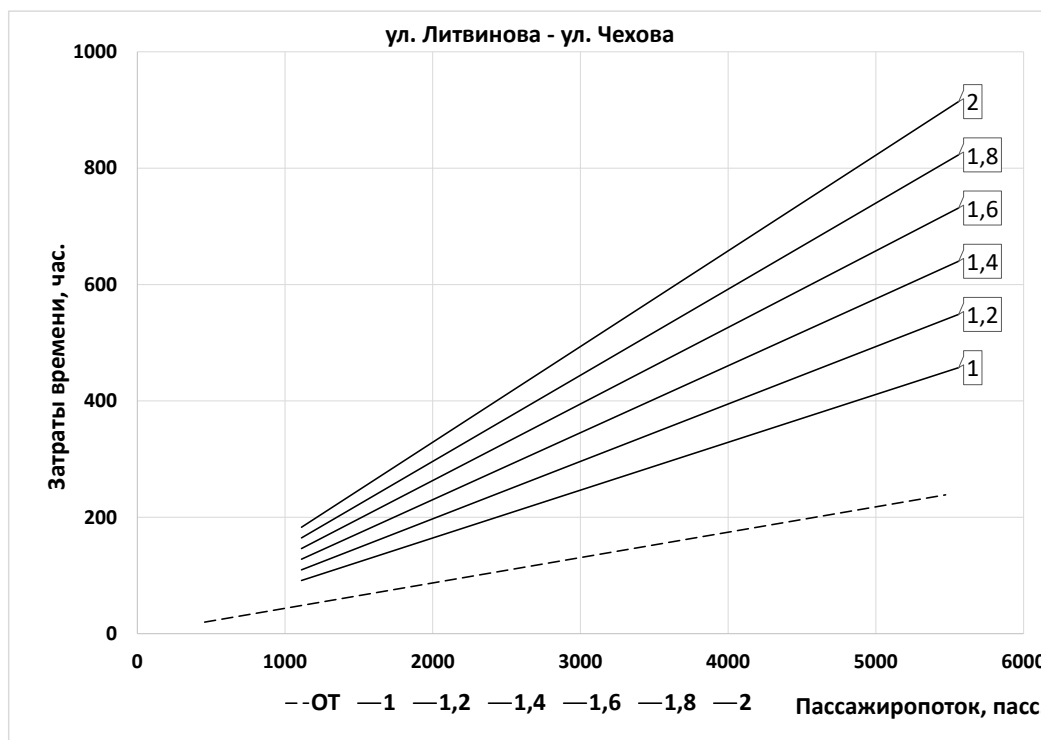


Рис. 3. Общая зависимость затрат времени от пассажиропотока на проезд ИТ и ОТ на участке ул. Литвинова – ул. Чехова в часы пик

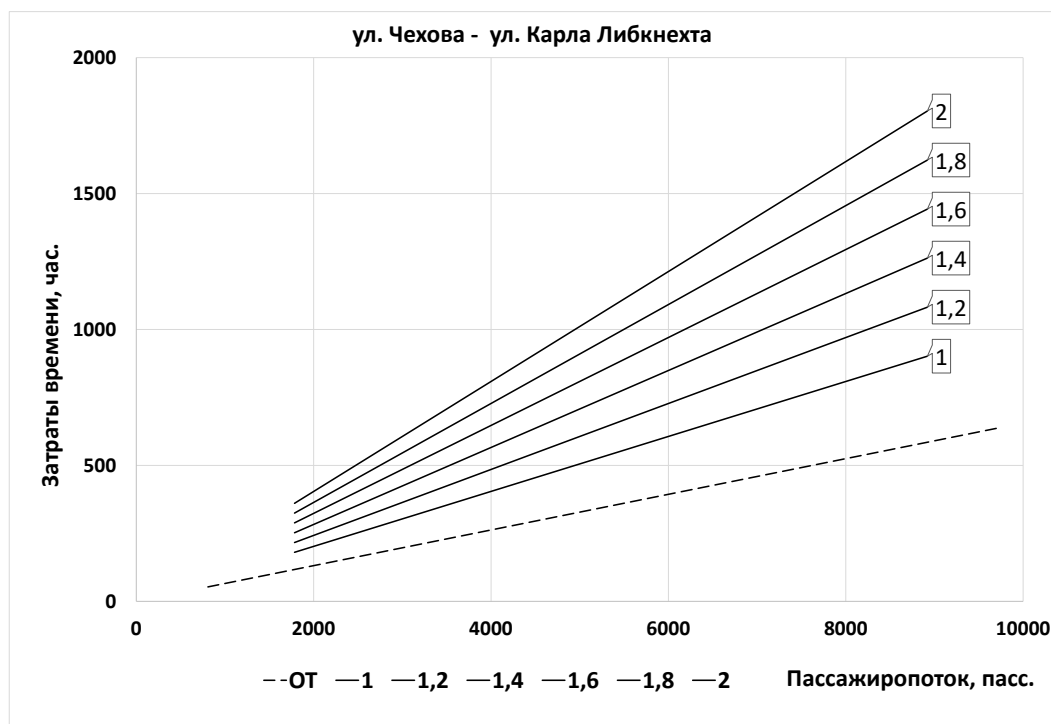


Рис. 4. Общая зависимость затрат времени от пассажиропотока на участке на проезд ИТ и ОТ ул. Чехова – ул. Карла Либкнехта в часы пик

Графики с обозначениями (соответствующими коэффициенту повышения затрат времени на проезд ИТ вследствие введения ВП) «1», «1,1», «1,2» ... «2» – затраты времени на проезд ИТ при варьируемом параметре K . Построение таких графиков позволило отразить возможные варианты затрачиваемого времени на проезд ИТ и ОТ при различных пассажиропотоках, что облегчит дальнейший расчет эффекта от введения ВП в будущем.

Исходя из условия, что для трех рассматриваемых участков по ул. Дзержинского $\gamma_{ИТ} = 1,3$, были просчитаны показатели эффекта (сокращение суммарных затрат времени ИТ и ОТ от введения ВП) по формуле:

$$\Delta = T_{ОТ}^{И} + \left(\frac{I_{ИТ} * A_{ИТ} * \gamma_{ИТ} * T_{ИТ}^{И}}{60} \right) - T_{ОТ}^{П} + \left(\frac{I_{ИТ} * \gamma_{ИТ} * K * T_{ИТ}^{И}}{60} \right), \quad (4)$$

где $T_{ОТ}^{И}$ – суммарное затрачиваемое время для ОТ в исходном варианте, ч.;

$T_{ОТ}^{П}$ – суммарное затрачиваемое время для ОТ в проектном варианте, ч.;

$T_{ИТ}^{И}$ – суммарное затрачиваемое время для ИТ в проектном варианте, ч.

В табл. 1-3 приведены результаты моделирования зависимостей:

1) пассажиропотока и времени проезда для ОТ с варьируемым параметром $\gamma_{ОТ}$ в диапазоне от 0,2 до 1,2 с шагом 0,1;

2) пассажиропотока и времени проезда для ИТ с варьируемым параметром K в диапазоне от 1 до 2 с шагом 0,1.

Таким образом возможно выявить варианты с положительным и отрицательным эффектом от введения ВП (табл. 1-3).

Таблица 1.

Эффект от введения ВП на участке ул. Ленина – ул. Литвинова в час пик, ч.

Кол-во пасс. ОТ	Время ИТ, ч.											
	Время ОТ, ч.	41,4	45,6	49,7	53,8	58,0	62,1	66,3	70,4	74,6	78,7	82,8
800	81,8	25,8	21,7	17,5	13,4	9,2	5,1	0,9	-3,2	-7,3	-11,5	-15,6
1200	122,6	38,7	34,6	30,4	26,3	22,1	18,0	13,8	9,7	5,6	1,4	-2,7
1600	163,5	51,6	47,4	43,3	39,2	35,0	30,9	26,7	22,6	18,5	14,3	10,2
2000	204,4	64,5	60,3	56,2	52,1	47,9	43,8	39,6	35,5	31,4	27,2	23,1
2400	245,3	77,4	73,2	69,1	65,0	60,8	56,7	52,5	48,4	44,2	40,1	36,0
2800	286,2	90,3	86,1	82,0	77,9	73,7	69,6	65,4	61,3	57,1	53,0	48,9
3200	327,0	103,2	99,0	94,9	90,8	86,6	82,5	78,3	74,2	70,0	65,9	61,8
3600	367,9	116,1	111,9	107,8	103,7	99,5	95,4	91,2	87,1	82,9	78,8	74,7
4000	408,8	129,0	124,8	120,7	116,6	112,4	108,3	104,1	100,0	95,8	91,7	87,6
4400	449,7	141,9	137,7	133,6	129,4	125,3	121,2	117,0	112,9	108,7	104,6	100,5
4800	490,6	154,8	150,6	146,5	142,3	138,2	134,1	129,9	125,8	121,6	117,5	113,4

Таблица 2.

Эффект от введения ВП на участке ул. Литвинова – ул. Чехова в час пик, ч.

Кол-во пасс. ОТ	Время ИТ, ч.											
	Время ОТ, ч.	118,9	130,7	142,6	154,5	166,4	178,3	190,2	202,1	213,9	225,8	237,7
912	39,8	16,0	4,1	-7,8	-19,7	-31,6	-43,5	-55,4	-67,2	-79,1	-91,0	-102,9
1368	59,7	23,9	12,1	0,2	-11,7	-23,6	-35,5	-47,4	-59,3	-71,1	-83,0	-94,9
1824	79,5	31,9	20,0	8,1	-3,7	-15,6	-27,5	-39,4	-51,3	-63,2	-75,1	-86,9
2280	99,4	39,9	28,0	16,1	4,2	-7,6	-19,5	-31,4	-43,3	-55,2	-67,1	-79,0
2736	119,3	47,9	36,0	24,1	12,2	0,3	-11,6	-23,4	-35,3	-47,2	-59,1	-71,0
3192	139,2	55,9	44,0	32,1	20,2	8,3	-3,6	-15,5	-27,3	-39,2	-51,1	-63,0
3648	159,1	63,8	52,0	40,1	28,2	16,3	4,4	-7,5	-19,4	-31,2	-43,1	-55,0
4104	179,0	71,8	59,9	48,0	36,2	24,3	12,4	0,5	-11,4	-23,3	-35,2	-47,0
4560	198,9	79,8	67,9	56,0	44,1	32,3	20,4	8,5	-3,4	-15,3	-27,2	-39,1
5016	218,8	87,8	75,9	64,0	52,1	40,2	28,3	16,5	4,6	-7,3	-19,2	-31,1
5472	238,6	95,8	83,9	72,0	60,1	48,2	36,3	24,4	12,6	0,7	-11,2	-23,1

Таблица 3.

Эффект от введения ВП на участке ул. Чехова – ул. Карла Либкнехта в час пик, ч.

Кол-во пасс. ОТ	Время ИТ, ч. Время ОТ, ч.	234,5	257,9	281,4	304,8	328,3	351,7	375,2	398,6	422,1	445,5	469,0
		1616	124,0	46,6	23,2	-0,3	-23,7	-47,2	-70,6	-94,1	-117,5	-141,0
2424	185,9	69,9	46,5	23,0	-0,4	-23,9	-47,3	-70,8	-94,2	-117,7	-141,1	-164,6
3232	247,9	93,2	69,8	46,3	22,9	-0,6	-24,0	-47,5	-70,9	-94,4	-117,8	-141,3
4040	309,9	116,5	93,1	69,6	46,2	22,7	-0,7	-24,2	-47,6	-71,1	-94,5	-118,0
4848	371,9	139,8	116,4	92,9	69,5	46,0	22,6	-0,9	-24,3	-47,8	-71,2	-94,7
5656	433,9	163,1	139,7	116,2	92,8	69,3	45,9	22,4	-1,0	-24,5	-47,9	-71,4
6464	495,9	186,5	163,0	139,6	116,1	92,7	69,2	45,8	22,3	-1,1	-24,6	-48,0
7272	557,8	209,8	186,3	162,9	139,4	116,0	92,5	69,1	45,6	22,2	-1,3	-24,7
8080	619,8	233,1	209,6	186,2	162,7	139,3	115,8	92,4	68,9	45,5	22,0	-1,4
8888	681,8	256,4	232,9	209,5	186,0	162,6	139,1	115,7	92,2	68,8	45,3	21,9
9696	743,8	279,7	256,2	232,8	209,3	185,9	162,4	139,0	115,5	92,1	68,6	45,2

Расчет эффекта от введения ВП позволил вывить области значений, при которых целесообразно оптимизировать движение по ул. Дзержинского путем введения ВП. Клетками, окрашенными в белый цвет, обозначен положительный эффект, черный цвет – отрицательный эффект. В дальнейшем планируется дополнительный сбор данных коэффициента наполняемости ОТ, влияние нерабочих дней на показатели транспортного потока для дальнейшего расчета годового показателя эффекта, а также проведение анализа влияния введения выделенных полос на количество ДТП по участку улицы и переход к расчету экономического эффекта от введения ВП.

Библиографический список

1. Пробки в Москве: 2013–2017. [Электронный ресурс] URL: <https://yandex.ru/company/researches/2017> (дата обращения 29.03.2023).
2. Автомобильные пробки в городах России. [Электронный ресурс] // URL: <https://yandex.ru/company/researches/2013> (дата обращения 29.03.2023).
3. Правила дорожного движения РФ. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090. [Электронный ресурс] URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/ дата обращения 29.03.2023).
4. Колганов, С.В. Исследование возможностей увеличения пропускной способности улиц в центральной части г. Иркутска. Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. Том 632. Международная конференция по инновациям в автомобильной и аэрокосмической технике 27 мая - 1 июня 2019 г., Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия. № 012070 / С.В. Колганов, В.В. Скutelьник [Электронный ресурс] URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/632/1/012070>. Published online: 8 November 2019/
5. Анализ факторов, влияющих на среднее наполнение индивидуального транспорта при посещении территорий / центров массового тяготения разной функциональной направленности. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-faktorov-vliyayuschih-na-srednee-napolnenie-individualnogo-transporta-pri-poseshchenii-territoriy-tsentrov-massovogo-tyagoteniya-raznoy-funktsionalnoy-napravlennoy> (дата обращения 18.03.2023 г.)