



Комплексный анализ работоспособности элементов улично-дорожной сети городов: вариантное проектирование нерегулируемых примыканий

Т.К. Комарова¹, П.И. Поспелов¹, С.С. Мордвин¹

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ), г. Москва, Российская федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Современной тенденцией обеспечения комфортных условий движения является учет мнения всех пользователей улично-дорожной сети. Актуальность исследования состоит в комплексном подходе к оценке проектных решений, которые могут быть предложены для реализации и позволят подобрать нужное решение при вариантном проектировании нерегулируемых примыканий. Работы, посвященные определению пропускной способности нерегулируемых примыканий, направленный на разработку практических рекомендаций по повышению их пропускной способности в условиях высоких уровней загрузки могут быть дополнены исследованиями экологических аспектов и технико-экономического обоснования возможных вариантов проектных решений. Целью настоящего исследования является комплексная оценка проектных решений городских нерегулируемых примыканий в одном уровне. Задачами исследования являются разработка проектных решений по устройству нерегулируемых примыканий в условиях высокой загрузки, оценка влияния проектных решений на объем выбросов загрязняющих веществ, сравнение проектных решений по устройству дополнительных мероприятий по основным объемам работ. Настоящее исследование является продолжением цикла работ по разработке метода определения пропускной способности нерегулируемых примыканий в одном уровне с пешеходным движением как элемента улично-дорожной сети.

Результаты. Получены результаты сравнительных анализов параметров движения транспортных потоков при различном положении пешеходного перехода в условиях высокой загрузки, объемов выбросов загрязняющих веществ от очередей автомобилей, образованных при различном положении пешеходного перехода на главной дороге, объемов работ по устройству дополнительных мероприятий для размещения очередей автомобилей, таких как назначение большого радиуса сопряжения и устройство кармана.

Выводы. Сформулированы выводы об эффективности расположения пешеходного перехода перед примыканием с учетом устройства дополнительных мероприятий по размещению очередей автомобилей в целях повышения пропускной способности примыкания и сокращения выбросов загрязняющих веществ в условиях высокой загрузки.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, нерегулируемое примыкание, интенсивность движения, проектирование дорог, выбросы загрязняющих веществ, экономическое сравнение

Для цитирования: Комарова Т.К., Поспелов П.И., Мордвин С.С. Комплексный анализ работоспособности элементов улично-дорожной сети городов: вариантное проектирование нерегулируемых примыканий // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 6-16, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.1, EDN: AZBBVR

Comprehensive analysis of the operability of elements of the urban street and road network: variant design of unsignalized junctions

T.K. Komarova¹, P.I. Pospelov¹, S.S. Mordvin¹

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* A modern trend in ensuring comfortable traffic conditions is to take into account the opinions of all users of the road network. The relevance of the research lies in an integrated approach to evaluating design solutions that can be proposed for implementation and will allow choosing the right solution for the variant design of unsignalized junctions. The works devoted to determining the capacity of unsignalized junctions and aimed at developing practical recommendations for increasing their capacity in conditions of high load levels, can be supplemented by studies of environmental aspects and feasibility studies of possible design solutions. The purpose of this study is a comprehensive assessment of the design solutions of urban unsignalized junctions at one level. The tasks of the study are to develop design solutions for the construction of unsignalized junctions in high-load conditions, to assess the impact of design solutions on the amount of pollutant emissions, and to compare design solutions for the installation of additional measures for the main work volumes. The present study is the continuation of the series of work on the development of a method for determining the capacity of unsignalized junctions at the same level with pedestrian traffic as an element of the road network. *Results.* We obtained the results of comparative analyses of traffic flow parameters at different positions of the pedestrian crossing in high-load conditions, the volume of pollutants released from queues of cars formed at different positions of the pedestrian crossing on the main road, the amount of work on additional measures to accommodate queues of cars, such as the arrangement of a large interface radius and special road extension sections. *Conclusions.* Conclusions are drawn about the effectiveness of the location of the pedestrian crossing in front of the junction, taking into account additional measures to accommodate queues of cars in order to increase the capacity of the junction and reduce emissions of pollutants in high-load conditions.

Keywords: street and road network, unsignalized junction, traffic volume, road design, pollutant emissions, economic comparison

For citation: Komarova T.K., Pospelov P.I., Mordvin S.S. Comprehensive analysis of the operability of elements of the urban street and road network: variant design of unsignalized junctions // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p. 6-16, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.1, EDN: AZBBVR

1. Введение

Современной тенденцией обеспечения комфортных условий движения является учет мнения всех пользователей улично-дорожной сети: автомобилистов, пешеходов, пользователей общественного транспорта и средств индивидуальной мобильности [1, 2]. Подобный мультимодальный подход к оценке элементов улично-дорожной сети учитывает факторы, влияющие на их пропускную способность, планировочную структуру, время, затрачиваемое пользователями на передвижение, безопасность движения, эстетику окружающей среды [3, 4].

Проектирование элементов улично-дорожной сети состоит в выборе оптимального решения для обеспечения его работоспособности. Комплексный подход к оценке проектных решений, которые могут быть предложены для реализации, позволит подобрать нужное решение при вариантном проектировании [5, 6]. Для комплексной оценки проектного решения необходимо определить следующее: интенсивность транспортного и пешеходного движения, пропускную способность полос движения,

длины очередей и задержки времени водителей. Нерегулируемые примыкания являются одни из наиболее широко применяемых элементов улично-дорожной сети, где происходит совместное движение транспортных и пешеходных потоков. Ряд работ [7, 8], посвященных определению пропускной способности нерегулируемых примыканий, направленный на разработку практических рекомендаций по повышению их пропускной способности в условиях высоких уровней загрузки может быть дополнен исследованиями экологических аспектов и технико-экономического обоснования возможных вариантов проектных решений.

Сегодня вопросы экологической безопасности являются неотъемлемой частью обеспечения качественных и комфортных условий для всех видов деятельности человека [9, 10]. Уровень концентрации загрязняющих веществ, образующихся в нижних слоях атмосферы, может определяться такими факторами, как интенсивность дорожного движения, состав транспортных потоков, метеорологические условия, геометрические характеристики дорожной сети, местный рельеф, наличие зеленых насаждений, количество перекрестков [11, 12].

При высоком уровне загрузки или высокой интенсивности пешеходного движения на нерегулируемых примыканиях будут образовываться очереди автомобилей, и возрастать задержки времени водителей [13, 14]. Вследствие простоя автомобиля и работы двигателя на холостом ходу возрастает количество выбросов загрязняющих атмосферу веществ, что приводит к снижению качества жизни в городе [15, 16, 17].

В качестве метода обеспечения работоспособности нерегулируемых примыканий в условиях повышенной загрузки могут быть предложены практические мероприятия по назначению больших радиусов сопряжения, устройства поворотных карманов и дополнительных полос движения.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка проектных решений городских нерегулируемых примыканий в одном уровне. Задачами исследования являются разработка проектных решений по устройству нерегулируемых примыканий в условиях высокой загрузки, оценка влияния проектных решений на объем выбросов загрязняющих веществ, сравнение проектных решений по устройству дополнительных мероприятий по основным объемам работ. Настоящее исследование является продолжением цикла работ¹ по разработке метода определения пропускной способности нерегулируемых примыканий в одном уровне с пешеходным движением как элемента улично-дорожной сети.

2. Материалы и методы

Для разработки конкурентноспособных проектных решений по устройству городских нерегулируемых примыканий выбраны следующие ограничения, полученные по результатам проведенных ранее исследований. Предельные интенсивности движения на примыкании составляют:

- до 600 авт./час на полосу движения главной дороги при движении прямо, направо и смешанном движении (прямо-направо);
- до 400 авт./час на полосу движения главной дороги при повороте налево или смешанном движении (прямо-налево);
- до 500 авт./час на полосу движения второстепенной дороги при повороте направо;
- до 200 авт./час на полосу движения второстепенной дороги при движении прямо, налево, смешанном движении;
- до 400 чел./час интенсивности пешеходного движения.

Пропускная способность каждого направления движения определена согласно математической модели совместного движения транспорта и пешеходов на нерегулируемом примыкании. При превышении указанных значений пропускная

¹Комарова, Т. К. Совершенствование методов определения пропускной способности при проектировании нерегулируемых примыканий в одном уровне с пешеходным движением как элемента улично-дорожной сети : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Комарова Татьяна Константиновна, 2024. – 214 с.

способность полос движения значительно снижается, возрастают задержки времени водителей и длина очереди автомобилей.

Пропускная способность полосы движения правоповоротного направления второстепенной дороги зависит от положения пешеходного перехода на главной дороге и может быть увеличена при расположении пешеходного перехода перед примыканием. Устройство пешеходного перехода перед примыканием снижает пропускную способность правоповоротного направления главной дороги, в связи с чем будет образовываться очередь автомобилей, которую необходимо разместить за пределами смешанной полосы движения главной дороги и исключить влияние очереди на проезжающие прямо автомобили.

Для размещения очереди автомобилей необходимо устройство дополнительных мероприятий, таких как назначение больших радиусов сопряжения и устройство карманов. Варианты устройства дополнительных мероприятий запроектированы согласно предложенной формуле¹ определения минимальных расстояний от кромки проезжей части до пешеходного перехода $l_{min}(1)$:

$$l_{min} = x + R + y, \quad (1)$$

где l_{min} - расстояния от кромки проезжей части до пешеходного перехода, м;

x, y – расстояния от начала/конца радиуса сопряжения до пешеходного перехода или длина дополнительной полосы движения для правого поворота при ее наличии, м;

R – радиус сопряжения, м.

Состав транспортного потока в городских условиях движения принят по результатам натурных исследований в г. Москва [18].

Удельные значения выбросов загрязняющего вещества $M_{\Pi_i}^C$ (г/сек) приняты по ГОСТ Р 56162 – 2019² для групп автомобилей различных типов, находящихся на пересечении.

Валовый выброс -го загрязняющего вещества для автотранспорта, находящегося на перекрестке $M_{\Pi_i}^B$ (т/г) вычисляют по формуле² (2):

$$M_{\Pi_i}^B = M_{\Pi_i}^C * \eta_T. \quad (2)$$

где η_T - средний коэффициент пересчета граммов в секунду в тонны в год в зависимости от типа автомобильной дороги, характеризующий разное изменение суммарной интенсивности потока автотранспортных средств, равный 13,50 при максимальной интенсивности движения потока автотранспортных средств, наблюдаемой в утренние (с 8:00 до 11:00) и вечерние (с 17:00 до 21:00) часы пик.

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим два варианта планировки нерегулируемого примыкания, оборудованного пешеходными переходами. Ширина полос движения составляет 3,75 м. Ширина проезжей части 7,50 м. В первом случае пешеходный переход расположен на главной дороге после примыкания, во втором случае до примыкания (рис. 1, 2). На второстепенной дороге пешеходный переход расположен в обоих случаях.

Каждому направлению движения транспортного потока присвоен номер Т1 – Т5. Пешеходы движутся в сечениях 1 - 3, пешеходным потокам присвоены номера П1 - П3.

Предположим, что интенсивность движения на главной дороге стремится к предельной в пиковые периоды загрузки. Тогда интенсивность движения для направления Т1 равна 397 авт./час; Т2 – 600 авт./час; Т3 – 600 авт./час; Т4 - 100 авт./час; Т5 – 500 авт./час.

²ГОСТ Р 56162- 2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу методом расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 сентября 2019 г. №9 694-стю). М.: Стандартинформ, 2019. 16 С.

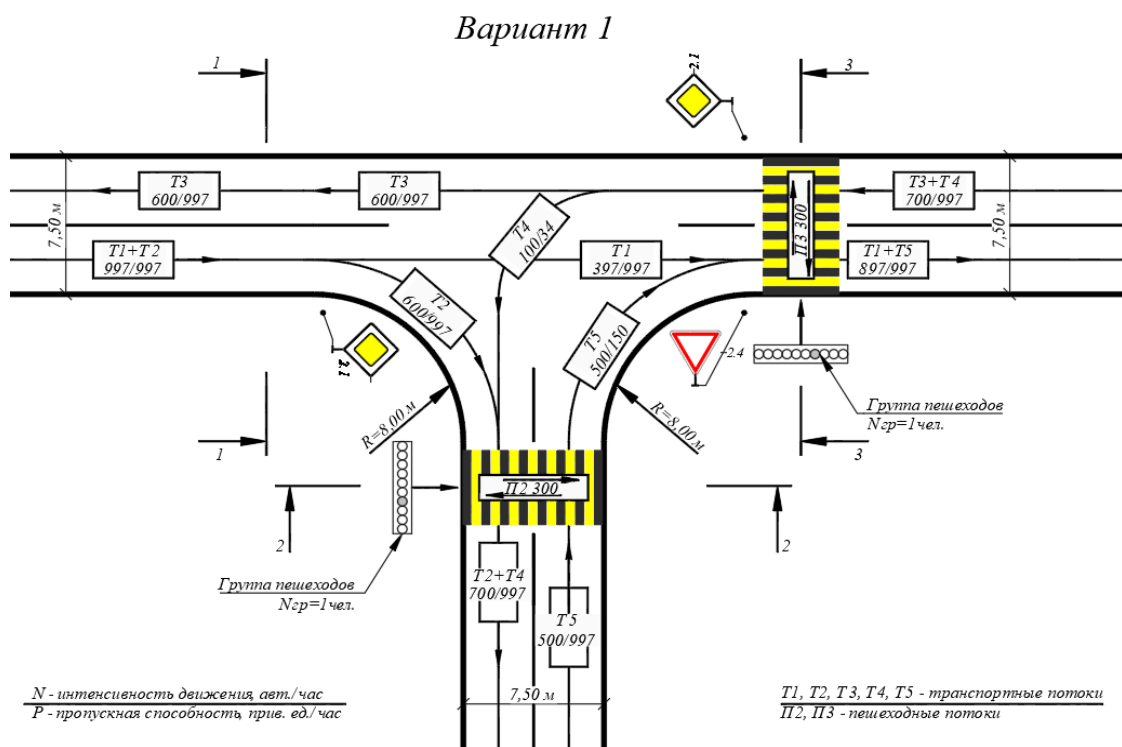


Рис. 1. Планировочные решения нерегулируемого примыкания, оборудованного пешеходным переходом. Вариант 1 (иллюстрация автора)

Fig. 1. Planning solutions for an unsignalized junction with a pedestrian crossing. Option 1 (illustration by the author)

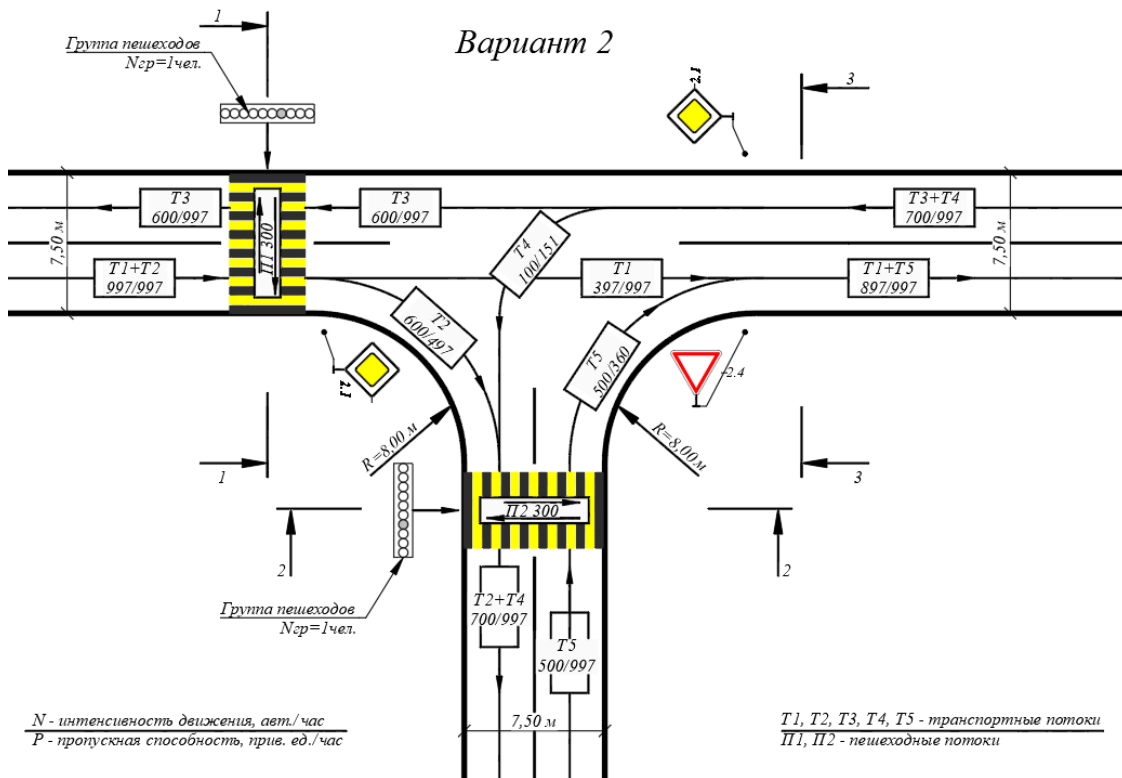


Рис. 2. Планировочные решения нерегулируемого примыкания, оборудованного пешеходным переходом. Вариант 2 (иллюстрация автора)

Fig. 2. Planning solutions for an unsignalized junction with a pedestrian crossing. Option 2 (illustration by the author)

Результаты сравнительного анализа параметров движения транспортных потоков для вариантов 1 и 2 планировочных решений приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров транспортных потоков

Вариант планировочного решения	№ направления	N, авт./час	P, прив.ед./час	z	d, сек	Q, м	Количество легковых автомобилей в очереди (l=4,90м), авт.
Вариант 1	T1	397	997	0,40	11	0,7	0
	T2	600	997	0,60	14	1,5	0
	T3	600	997	0,60	14	1,5	0
	T4	100	34	2,94	1123	9,6	2
	T5	500	150	3,33	1112	45,1	9
Вариант 2	T1	397	997	0,40	11	0,7	0
	T2	600	497	1,28	169	20,3	4
	T3	600	997	0,60	14	1,5	0
	T4	100	151	0,66	66	1,6	0
	T5	500	360	1,39	220	20,5	4

Примечание: N – интенсивность движения на полосу движения, авт./час; P – пропускная способность полосы движения, прив.ед./час; z – уровень загрузки полосы движения; d – задержка времени водителей, сек; Q – длина очередь автомобилей, м; l – средняя длина легкового автомобиля в очереди равная 4,90 м

Для оценки проектных решений при различном положении пешеходного перехода на главной дороге для предложенных вариантов 1 и 2 были проведены расчеты выбросов загрязняющих веществ. Расчет выбросов проведен для всех направлений движения по суммарной задержке времени водителей за расчетный период времени. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ объема выбросов загрязняющих веществ

№ варианта	Наименование группы автомобилей	№ группы	Доля в составе транспортного потока, %	Выброс, г/сек (за расчетный период времени T=15 минут период пиковой загрузки)						
				CO	NOx (в пересчете на NO2)	CH	Сажа	SO2	Формальдегид	Бенз(а)пирен
Вариант 1	Легковые	I	84	5,40	0,2796	1,049	0,350	0,0540	0,00826	0,00000413
	Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 т	II	4	1,51	0,0453	0,106	0,050	0,0050	0,00045	0,00000020
	Грузовые массой от 3,5 до 12,0 т	III	7	2,84	0,2810	0,483	0,624	0,0156	0,00216	0,00000094
	Грузовые массой свыше 12,0 т	IV	3	1,95	0,1266	0,253	0,438	0,0064	0,00113	0,00000039
	Автобусы массой свыше 3,5 т	V	2	0,68	0,0750	0,053	0,091	0,0045	0,00019	0,00000008
	Суммарный выброс, г/сек			12,38	0,8076	1,943	1,553	0,0856	0,01219	0,00000573
	Валовый выброс, т/год			167,12	10,9023	26,232	20,967	1,1555	0,16459	0,00007735
Вариант 2	Легковые	I	84	1,42	0,0733	0,275	0,092	0,0142	0,00217	0,00000108
	Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 т	II	4	0,40	0,0119	0,028	0,013	0,0013	0,00012	0,00000005
	Грузовые массой от 3,5 до 12,0 т	III	7	0,74	0,0737	0,126	0,164	0,0041	0,00057	0,00000025
	Грузовые массой свыше 12,0 т	IV	3	0,51	0,0332	0,066	0,115	0,0017	0,00030	0,00000010
	Автобусы массой свыше 3,5 т	V	2	0,18	0,0197	0,014	0,024	0,0012	0,00005	0,00000002
	Суммарный выброс, г/сек			3,24	0,2117	0,509	0,407	0,0224	0,00320	0,00000150
	Валовый выброс, т/год			43,80	2,8574	6,875	5,495	0,3028	0,04314	0,00002027
	Разница суммарных выбросов, г/сек			9,13	0,5959	1,434	1,146	0,0632	0,00900	0,00000423
Разница валового выброса, т/год			123,32	8,0449	19,357	15,471	0,8526	0,12145	0,00005707	

Результаты сравнительного анализа выбросов загрязняющих веществ показали снижение значений в 3,82 раза при устройстве дополнительных мероприятий и расположении пешеходного перехода перед примыканием за счет снижения задержек времени водителей.

Отрицательный эффект принятого решения варианта 2 состоит в образовании очереди автомобилей на правоповоротном направлении Т2. Разместить очередь автомобилей правоповоротного направления Т2 таким образом, чтобы исключить ее влияние на направление движения Т1 возможно при устройстве дополнительных мероприятий и обеспечению минимального расстояния от кромки проезжей части до пешеходного перехода l_{min} . В качестве дополнительных мероприятий предложены следующие проектные решения: вариант А – назначение большого радиуса сопряжения (рис. 3); вариант Б – устройство кармана (рис. 4). При устройстве кармана для варианта Б необходимо также предусмотреть увеличение радиуса сопряжения справа от оси второстепенной дороги для размещения очереди автомобилей направления Т5.

.....

Вариант А

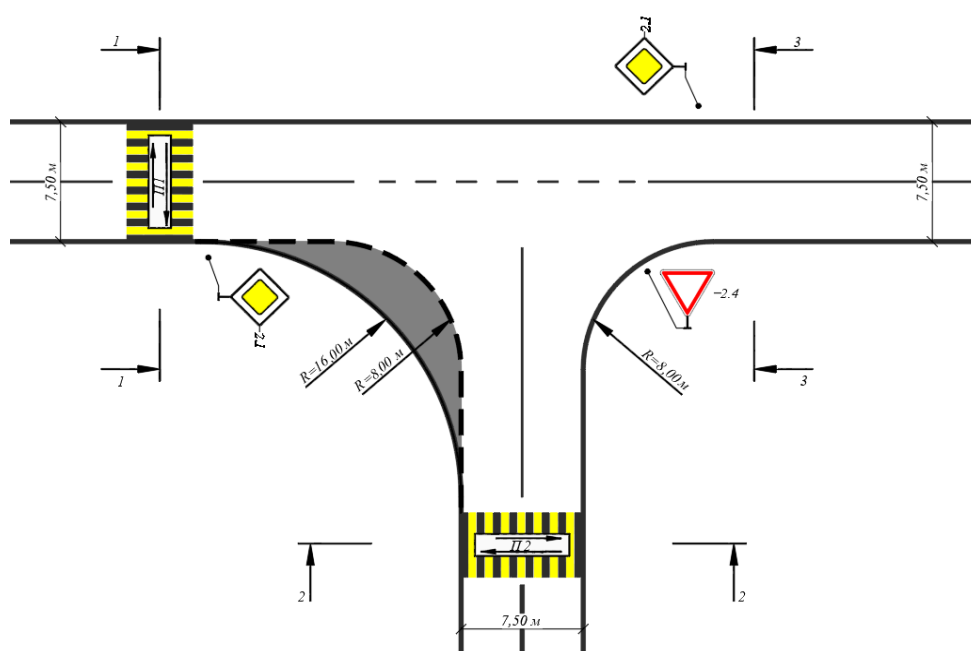


Рис. 3. Планировочное решение при назначении большого радиуса сопряжения для размещения очереди автомобилей направления Т2. Вариант А. (иллюстрация автора)

Fig. 3. A planning decision when arranging a large interface radius to accommodate a queue of cars in the T2 direction. Option A. (illustration by the author).

Основным критерием выбора типа планировочного решения по устройству дополнительных мероприятий определен его стоимостью. Сравнительный анализ проведен по основным объемам требуемых работ по назначению большого радиуса сопряжения (вариант А) и устройству кармана (вариант Б). Расчетные данные приведены в таблице 3.

Вариант Б

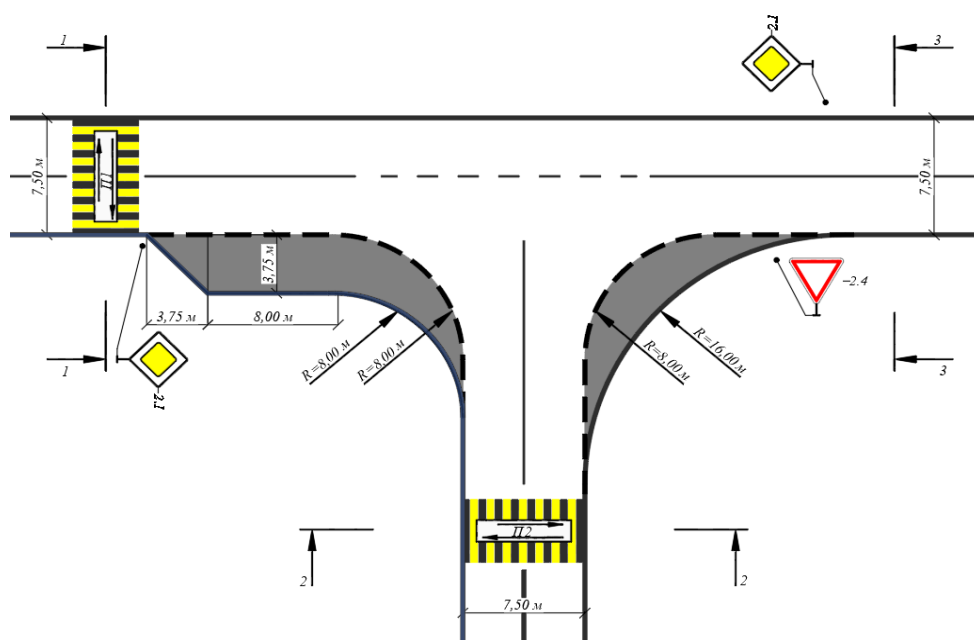


Рис. 4. Планировочное решение при устройстве кармана для размещения очереди автомобилей направления Т2. Вариант Б. (иллюстрация автора)

Fig. 4. A planning solution for arranging a special road extension section to accommodate a queue of cars in the T2 direction. Option B. (illustration by the author)

Таблица 3

Сравнительный анализ основных объемов работ

№ п/п	Вид работ	Ед. изм.	Объем работ по устройству дополнительных мероприятий		Δ, %
			Вариант А	Вариант Б	
1	Устройство дорожного покрытия	кв.м	164,82	426,40	61,35
2	Устройство бортового камня проезжей части	пог.м	26,44	42,86	38,31
3	Демонтаж бортового камня проезжей части	пог.м	29,52	57,42	48,59
Итого		кв.м/пог.м	164,82/55,96	426,40/100,28	61,35/79,20
Примечание: Δ - увеличение объемов работ при устройстве мероприятий по варианту Б относительно объемов работ при устройстве мероприятий по варианту А, %.					

Сравнение объемов работ по устройству дополнительных мероприятий по варианту А и по варианту Б показало, что наиболее эффективным является решение согласно варианту А – устройство большого радиуса сопряжения слева от оси проезжей части для размещения очереди автомобилей правоповоротного направления движения главной дороги. Увеличение объемов работ при устройстве варианта Б связано с необходимостью назначения большого радиуса справа от оси проезжей части второстепенной дороги для размещения очереди автомобилей правоповоротного направления второстепенной дороги. При устройстве варианта А данная очередь автомобилей размещается вдоль оси проезжей части, что позволяет сохранить малый радиус сопряжения справа от оси проезжей части второстепенной дороги.

Окончательный выбор проектного решения по устройству дополнительных мероприятий также зависит от возможности его размещения: планировочных условий, окружающей застройки, границ размещения земельных участков и линии градостроительного регулирования.

Комплексный анализ вариантного проектирования нерегулируемых примыканий позволит найти оптимальное проектное решение по обеспечению работоспособности нерегулируемых примыканий в условиях высокой загрузки в пиковые периоды времени.

4. Заключение

В результате проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

Задачами исследования являются разработка проектных решений по устройству нерегулируемых примыканий в условиях высокой загрузки, оценка влияния проектных решений на объем выбросов загрязняющих веществ, сравнение проектных решений по устройству дополнительных мероприятий по основным объемам работ.

1. Разработаны проектные решения по устройству нерегулируемых примыканий в условиях высокой загрузки в зависимости от положения пешеходного перехода перед или после примыкания. Расположение пешеходного перехода до примыкания позволяет повысить пропускную способность правоповоротного направления движения второстепенной дороги и примыкания в целом, но снижает пропускную способность правоповоротного направления главной дороги, в связи с чем будут образовываться очереди автомобилей, которые необходимо разместить за пределами смешанной полосы движения главной дороги. Для размещения очереди рекомендовано устройство дополнительных мероприятий: назначение большого радиуса сопряжения и устройство кармана.

2. Проведена оценка влияния проектных решений по устройству пешеходного перехода перед и после примыкания на объемы выбросов загрязняющих веществ, возникающих от стоящих в очереди автомобилей. Результаты анализа объемов выбросов загрязняющих веществ для планировочных решений нерегулируемых примыканий при различном положении пешеходного перехода показали, что устройство пешеходного перехода перед примыканием позволит сократить количество выбросов загрязняющих веществ в 3,8 раз по сравнению с устройством пешеходного перехода после примыкания.

3. Проведено сравнение проектных решений по устройству дополнительных мероприятий по основным объемам работ. Результат сравнения предложенных проектных решений по укрупненным объемам работ при устройстве дополнительных мероприятий по размещению очереди автомобилей показал, что назначение большого радиуса сопряжения слева от оси проезжей части для размещения очереди автомобилей правоповоротного направления движения главной дороги эффективнее, чем устройство кармана.

4. Результаты настоящего исследования позволят оптимизировать работоспособность улично-дорожной сети и ее элементов, снизить объем выбросов загрязняющих веществ и подобрать проектное решение с учетом экономических возможностей заказчика.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой за счет средств федерального бюджета (источник финансирования - Министерство образования и науки Российской Федерации) по теме: "Инновационные технические решения и модифицирующие технологии для повышения эксплуатационных характеристик и долговечности автомобильных дорог. Разработка нового научно обоснованного и экспериментально подтвержденного метода расчета накопленной деформации и мгновенной потери несущей способности армированного земляного сооружения и его основания при многоцикловых динамических нагрузках" (шифр научной темы FSFM-2024-0025).

Acknowledgements

The article was prepared as part of the research work carried out at the expense of the federal budget (the source of funding is the Ministry of Education and Science of the Russian Federation) on the topic: "Innovative technical solutions and modifying technology to improve the performance and durability of highways. Development of a new scientifically based and

experimentally confirmed method for calculating accumulated deformation and instantaneous loss of bearing capacity of reinforced earthwork and its base under multi-cyclic dynamic loads" (code of the scientific topic FSFM-2024-0025).

Список литературы/References

1. Alkhatib A., Maria K., Alzu'bi S., Maria E. Novel system for road traffic optimisation in large cities // IET Smart Cities. 2022. Vol. 4. Iss. 2. P. 143–155. DOI: 10.1049/smc2.12032.
2. Lopes A., Orozco-Fontalvo M., Moura F., Vale D. Mobility as a service and socio-territorial inequalities: A systematic literature review // Journal of Transport and Land Use. 2023. Vol. 16. Iss. 1. P. 215–240. DOI: 10.5198/jtlu.2023.2273.
3. Николаева Р.В., Валиев Р.Ф. Безопасность дорожного движения, как мировая проблема // Техника и технология транспорта. 2022. Т. 3. Вып. 26. С. 3. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N26-03BDD322.pdf>.
Nikolaeva R., Valiev R. Road safety as a global problem // Technique and technology of transport. 2022. Vol. 3. Issue 26. P. 3. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N26-03BDD322.pdf>.
4. Николаева Р.В., Попова И.И. Современные системы для управления транспортными потоками // Техника и технология транспорта. 2022. Т. 2. Вып. 25. С. 16. URL: <https://transport-kgasu.ru/files/N25-16ITS222.pdf>.
Nikolaeva R., Popova I. Modern systems for traffic flow management // Technique and technology of transport. 2022. Vol. 2. Issue 25. P. 16. URL: <https://transport-kgasu.ru/files/N25-16ITS222.pdf>.
5. Msaas B. Literature Review of Mobility as a Service. // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 14: 8962. DOI: 10.3390/su14148962.
6. Xing R., Fei W., Xiaoyu C., Ning C., Tao Y., Bo P. A Regional Road Network Capacity Estimation Model for Mountainous Cities Based on Auxiliary Map // Sustainability. 2023. Vol. 15. Iss. 14:11439. 27 P. DOI: 10.3390/su151411439.
7. Komarova T. Improving the Digital Modeling Quality of Unsignalized Intersections Equipped with a Pedestrian Crossing // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). 2022. 4 P. DOI:10.1109/TIRVED56496.2022.9965532.
8. Komarova T., Pospelov P., Martyakhin D., Mordvin S., Kostsov A., Rudakova V. Enhancing urban air quality and traffic flow: multimodal solutions for unsignalized junction efficiency and sustainable city development // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2024. Vol. 14. Iss. 4. P. 209–216. DOI:10.31407/ijeess14.425.
9. Bari C., Khode B. PM10 Dispersion Modelling at Unsignalised Intersection Using Caline4—A Case Study // In: Gupta L.M., Ray M.R., Labhasetwar P.K. (eds) Advances in Civil Engineering and Infrastructural Development. Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore: Springer, 2021. Vol. 87. P. 531–539. DOI:10.1007/978-981-15-6463-5_51
10. Hammad M., Mohammed H. Microsimulation Approach for Reducing Gas Emissions of Vehicles at Unsignalized Intersections // 16th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), Istanbul, Turkey, 2023. P. 224–227. DOI: 10.1109/DeSE60595.2023.10469226.
11. Shepelev V., Vorobyev A., Mayrin V., Almetova Z., Khassenov U. Enhancing Intersection Capacity and Reducing Pollutant Emissions: Real-Time Analysis and Insights // In: Radionova, L.V., Ulrikh, D.V. (eds) Advances in Ecology and Environmental Engineering. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2024. P. 51–62. DOI:10.1007/978-3-031-64423-8_5.
12. Villarreal M. et al. Analyzing emissions and energy efficiency in mixed traffic control at unsignalized intersections //arXiv preprint arXiv:2311.11866. – 2023.
13. Dungar S., Pritikana D., Indrajit G. Conflict-Based safety evaluations at unsignalized intersections using surrogate safety measures. Heliyon. 2024. Vol. 10. Iss. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27665.

14. Goyan J., Ninad G., Shriniwas A. Crossing conflict models for urban un-signalized T-intersections in India // *Transportation letters*. 2024. Vol. 16. Iss. 8. P. 829-837. DOI: 10.1080/19427867.2023.2250161.
15. Luther P., Andri I., Mohamad T. The unsignalized intersection performance analysis of Arterial access road at Karawang barat 1 toll gate, West Java // *Indonesian Journal of Multidisciplinary Science*. 2023. Vol. 1. Iss. 1. P. 451-459. DOI: 10.55324/ijoms.v1i1.402.
16. Wu N., Brilon W. Some New Developments in Two-Way-Stop-Controlled Intersections Procedures and Recommendations for a Future Version of the Highway Capacity Manual // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2021. Vol. 16. Iss. 9. DOI: 10.1177/03611981211007844
17. Рудакова В.В., Рудаков Г.В. Зарубежный опыт обеспечения экологической безопасности // *Проектирование автомобильных дорог : Сборник докладов Международной конференции и 79-й Международной научно-исследовательской конференции*, Москва, 26–30 января 2021 года / Под научной редакцией П.И. Пospelova. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "А-проджект", 2021. С. 56-60.
Rudakova V.V., Rudakov G.V. Foreign experience in ensuring environmental safety // *Highway Design: Collection of reports of the International Conference and the 79th International Scientific Research Conference*, Moscow, January 26-30, 2021 / Edited by P.I. Pospelov. – Moscow: A-project Limited Liability Company, 2021. P. 56-60.
18. Pospelov P., Kostin S., Martyakhin D., Komarova T. Optimization of traffic flows to increase the capacity of urban unsignalized junctions // *International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) / IOP Publishing - IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol.1111. 012026. DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012026.

Информация об авторах

Комарова Татьяна Константиновна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Российская Федерация

Email: tatianakom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-5711-4548

Пospelов Павел Иванович, доктор технических наук, профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Российская Федерация

Email: pospelov@madi.ru, ORCID: 0000-0002-0493-4957

Мордвин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Российская Федерация

Email: mor-ss@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-8173-9024

Information about the authors

Tatiana K. Komarova, candidate of technical sciences, senior lecturer, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

Email: tatianakom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-5711-4548

Pavel I. Pospelov, doctor of technical sciences, professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

Email: pospelov@madi.ru, ORCID: 0000-0002-0493-4957

Sergey S.Mordvin, candidate of technical sciences, associate professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation

Email: mor-ss@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-8173-9024