

Д. В. КАПСКИЙ, А. В. КОРЖОВА

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ СЕТИ BLUETOOTH-ДЕТЕКТОРОВ

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье выполнен анализ потенциала существующей сети Bluetooth-детекторов для построения транспортных моделей и анализа перераспределения транспортных потоков, а также сделана попытка валидации показаний стационарных радарных детекторов путем их сопоставления с эталонными данными, полученными с помощью видеонализа. Выполнены мониторинг показаний детекторов транспорта и оценка соответствия получаемых в АСУДД и VCC-платформу данных от детекторов транспорта реальным показателям, технологическая привязка детекторов транспорта к управляющим воздействиям на основе разработанной технологии управления дорожным движением. Сделаны предложения по необходимости калибровки и корректировки положения детекторов транспорта. Предложена «дорожная карта» по устранению выявленных недостатков и повышению качества данных, являющихся фундаментом для безопасного и эффективного управления дорожным движением в рамках ИТС.

Ключевые слова: мониторинг, детектирование, транспортные потоки, ИТС, Bluetooth-детектор

Введение

Современные города активно внедряют интеллектуальные транспортные системы (ИТС) с целью оптимизации транспортных потоков, сокращения задержек и повышения безопасности дорожного движения [1–3]. Основой любой ИТС является подсистема сбора данных – сеть детекторов и датчиков, от точности и надежности которой напрямую зависит эффективность принимаемых управляющих решений [4, 5]. Принцип «мусор на входе – мусор на выходе» (Garbage In, Garbage Out) является здесь основополагающим (Чарльз Беббидж / Джордж Фьючел).

В Минске развернута многокомпонентная система мониторинга, включающая Bluetooth-детекторы для оценки времени проезда и радарные детекторы для измерения интенсивности на перекрестках [6, 7]. Эти данные поступают в автоматизированную систему управления дорожным движением (АСУДД) и VCC-платформу, которые должны в реальном времени адаптировать работу светофоров под складывающуюся транспортную ситуацию. Однако эффективность и, что важнее, безопасность таких адаптивных алгоритмов полностью зависят от достоверности исходных данных [8–10].

Настоящие исследования посвящены критическому аудиту существующей системы сбора транспортных данных. Актуальность работы обусловлена необходимостью верификации данных, на основе которых принимаются ключевые управленческие решения в масштабах города [11–12]. Цель исследования – не просто констатация фактов, а количественная оценка достоверности получаемых данных и выработка конкретных технических и методологических рекомендаций. Работы проводились в рамках

договора №3242/25 от 18.06.2025 «Разработка мероприятий по повышению безопасности дорожного движения» с ООО «Смарт СТМ Сити».

Проведение анализа перераспределения транспортных потоков на основании существующей сети Bluetooth-детекторов

Выполнены исследования показаний Bluetooth-детекторов для 18 активных пар на следующих перегонах в прямом и обратном направлении:

1. ул. Ангарская – ул. Кабушкина;
2. ул. Брилевская – пр-т Рокоссовского;
3. пр-т Независимости – ул. М. Богдановича;
4. пр-т Машерова – ул. М. Богдановича;
5. ул. К. Цеткин – ул. Любимова;
6. ул. К. Цеткин – ул. Романовская Слобода;
7. Долгиновский тракт – ул. Сурганова;
8. Долгиновский тракт – пр-т Пушкина;
9. ул. Брилевская – пр-т Пушкина;
10. ул. Я. Купалы – пр-т Машерова;
11. пр-т Независимости – ул. Сурганова, 78;
12. ул. Я. Купалы – ул. Романовская Слобода;
13. ул. Калиновского – ул. Сурганова;
14. ул. Сурганова – ул. Багратиона;
15. пр-т Победителей – ул. М. Богдановича;
16. ул. Кабушкина – ул. Буденого;
17. пр-т Машерова – ул. Ленина;
18. ул. Я. Купалы – ул. Ленина.

На основании предоставленных данных было выполнено распределение средней интенсивности скорости на перегонах улиц между двумя парами Bluetooth-детекторов в прямом и обратном направлении по времени суток, фрагмент полученных результатов представлен на рисунках 1–2, а также в таблице 1.

Таблица 1. Анализ данных Bluetooth-детекторов

№	Наименование перегона	Направление движения транспортных средств	Длина перегона, м	Средняя скорость движения, км/ч	Превышение среднего значения скорости над разрешенным значением	Зафиксированное количество ID-устройств, ед/сут
1	Ангарская – Кабушкина	прямое	1984	42	нет	191 023
		обратное		46	нет	301 118
2	Брилевская – Рокоссовского	прямое	4677	38	нет	185 854
		обратное		32	нет	0
3	Независимости – М. Богдановича	прямое	771	17	нет	0
		обратное		20	есть (утро)	59 257
4	Машерова – М. Богдановича	прямое	1044	14	нет	0
		обратное		16	нет	132 146
5	К. Цеткин – Любимова	прямое	6067	42	нет	148 738
		обратное		45	нет	248 582
6	К. Цеткин – Романовская Слобода	прямое	942	34	нет	140 812
		обратное		29	нет	248 582
7	Долгиновский – Сурганова	прямое	2288	37	нет	97 541
		обратное		34	нет	170 907
8	Долгиновский – Пушкина	прямое	5186	34	есть (ночь)	145 713
		обратное		33	нет	170 729
9	Брилевская – Пушкина	прямое	4591	32	нет	145 323
		обратное		40	нет	0
10	Я. Купалы – Машерова	прямое	948	17	нет	14 009
		обратное		20	нет	0
11	Независимости – Сурганова, 78	прямое	1621	31	нет	97 217
		обратное		31	нет	0
12	Я. Купалы – Романовская Слобода	прямое	1037	14	нет	136 273
		обратное		16	нет	0
13	Калиновского – Сурганова	прямое	3926	34	нет	0
		обратное		45	нет	183 335
14	Сурганова – Багратиона	прямое	2598	33	нет	83 524
		обратное		34	нет	0
15	Победителей – М. Богдановича	прямое	1733	33	есть (ночь)	13 081
		обратное		39	есть (ночь)	3 112
16	Кабушкина – Буденого	прямое	2907	46	нет	57 606
		обратное		48	нет	191 023
17	Машерова – Ленина	прямое	2044	31	нет	142 973
		обратное		42	есть (ночь)	2 917
18	Я. Купалы – Ленина	прямое	626	34	нет	193 537
		обратное		40	нет	64 560

Превышение средней скорости зафиксировано на следующих участках в указанные промежутки времени: перегон от ул. М. Богдановича до пр-та Независимости в утренний период (6:00); перегон от Долгиновского тракта до пр-та Пушкина в ночной период

(02:00 – 6:00); перегон от пр-та Победителей до ул. М. Богдановича в ночной период (0:00 и 4:00); перегон от ул. М. Богдановича до пр-та Победителей в ночной период (0:00); перегон от ул. Ленина до пр-та Машерова в ночной период (3:00).

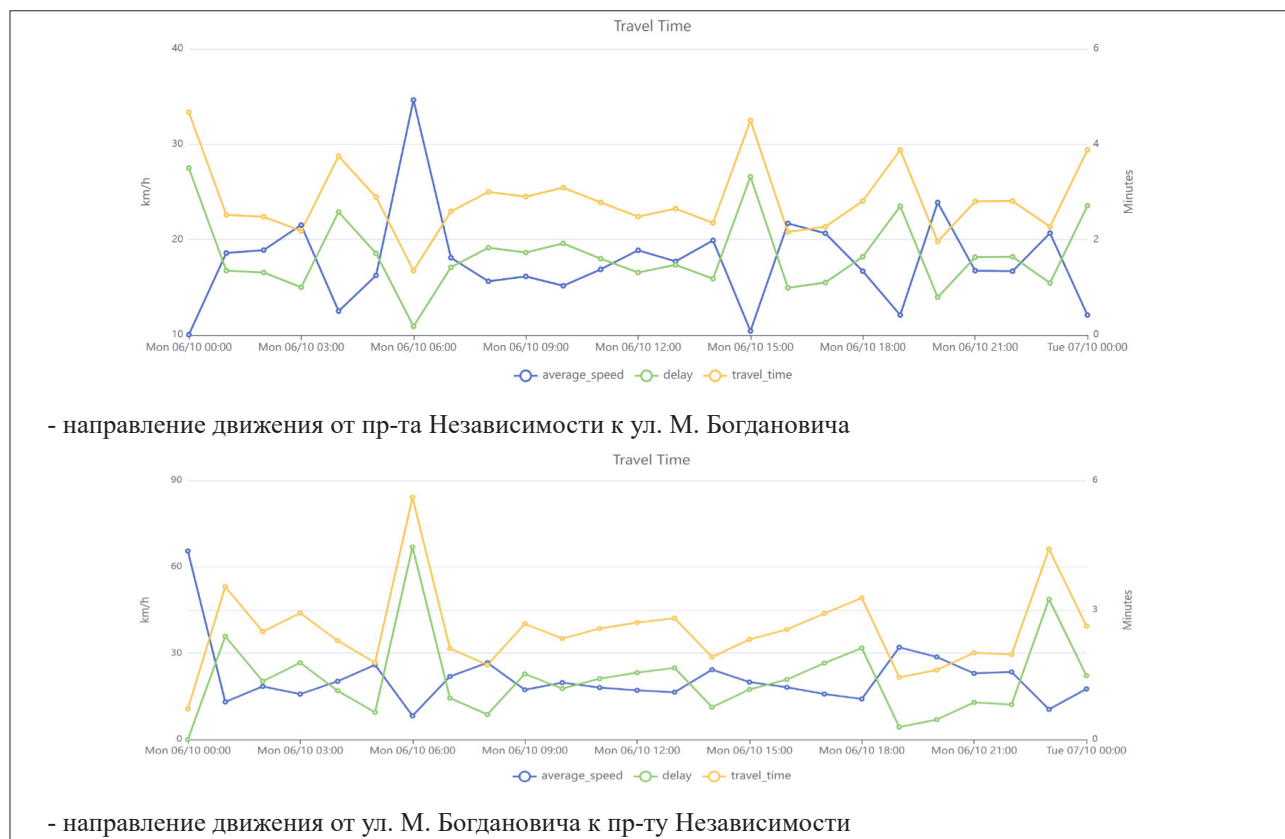


Рисунок 1. Распределение средней скорости движения транспортных средств по времени суток на перегоне пр-т Независимости – ул. М. Богдановича в прямом и обратном направлении

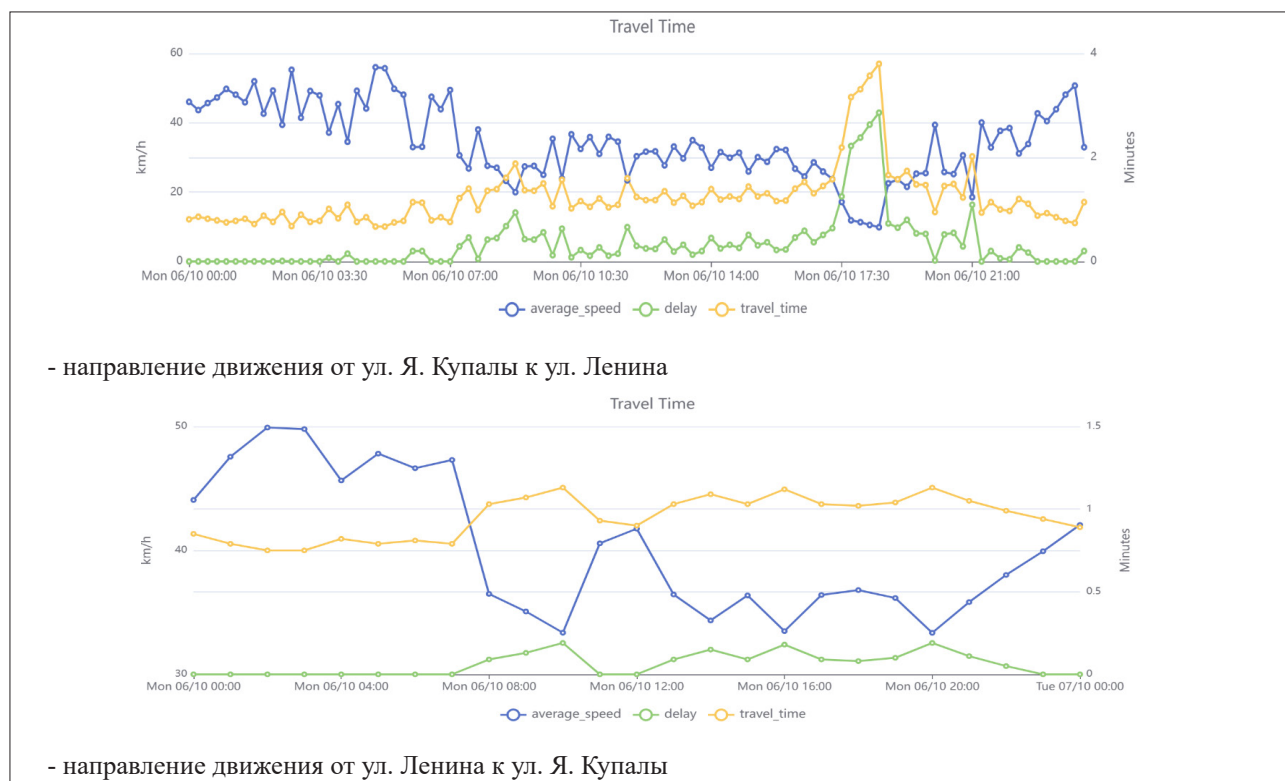


Рисунок 2. Распределение средней скорости движения транспортных средств по времени суток на перегоне ул. Я. Купалы – ул. Ленина в прямом и обратном направлении

Фрагмент распределений зафиксированных работы Bluetooth-детекторов представлены на рисунках 3–4.

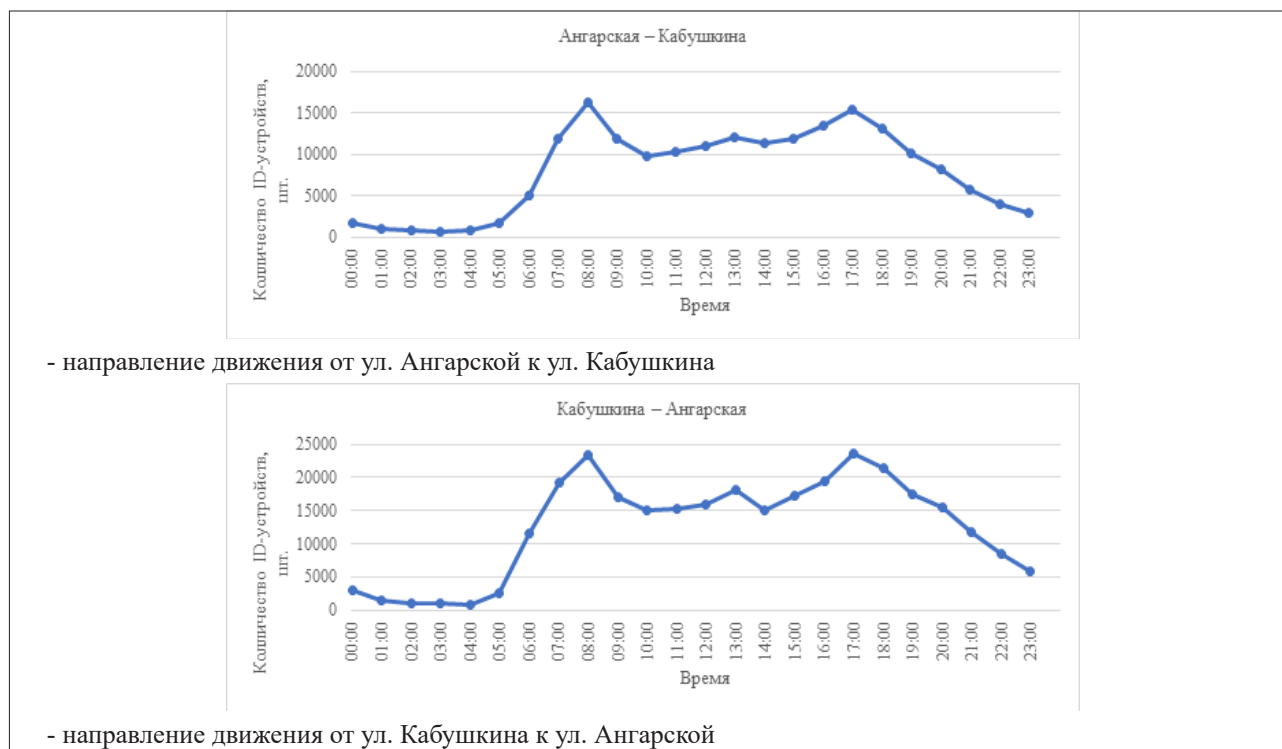


Рисунок 3. Распределение зафиксированных ID-устройств по времени суток на перегоне ул. Кабушкина – ул. Ангарская в прямом и обратном направлении

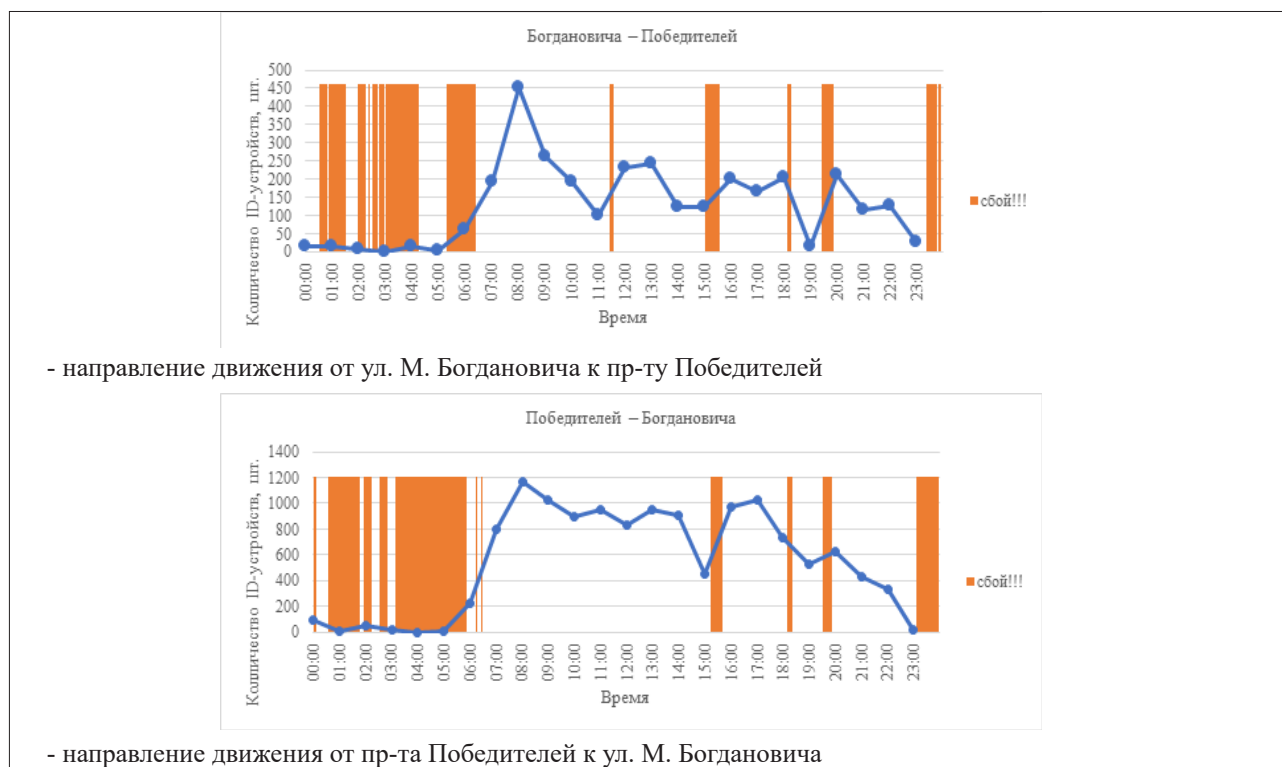


Рисунок 4. Распределение зафиксированных ID-устройств по времени суток на перегоне пр-т Победителей – ул. М. Богдановича в прямом и обратном направлении

Анализ данных Bluetooth-детекторов показал, что построение матрицы корреспонденций ID-устройств по улично-дорожной сети г. Минска не представляется возможным. Отсутствие в выходных

данных MAC-адресов устройств, а также недостаточное покрытие Bluetooth-детекторами территории города не позволяет выполнить адекватное построение (рисунок 5).



Рисунок 5. Расстановка Bluetooth-детекторов на улично-дорожной сети г. Минска

Мониторинг показаний детекторов транспорта и оценка соответствия получаемых данных

В процессе проведения экспериментальных исследований выполнен мониторинг показаний детекторов для 51 направления на следующих регулируемых пересечениях:

- ул. Аэродромная – ул. Авакяна (6 направлений);
- пр-т Независимости – ул. Волгоградская (2 направления);
- пр-т Независимости – ул. Ленина (3 направления);
- ул. Тимирязева – ул. Нарочанская (3 направ-

ления);

- ул. Толстого – ул. Московская (5 направлений);
- пр-т Партизанский – ул. Ангарская (3 направления);
- ул. Кижеватова – ул. Казинца (5 направлений);
- пр-т Партизанский – ул. Кабушкина (4 направления);
- ул. Аранская – МФК (4 направления);
- ул. Притыцкого – ул. Лобанка (3 направления);
- пр-т Дзержинского – ул. Гурского (6 направлений);
- ул. М. Богдановича – ул. Я. Купалы (7 направлений).

Оценка показаний выполнена для пиковых периодов:

- «утренний пик» – промежуток времени с 8:00 до 8:30;

- «вечерний пик» – промежуток времени с 17:00 до 17:30.

Получасовые промежутки, в зависимости от настроек детекторов, разбивались на 15-минутные интервалы. Детектируемые показания (графа «Радар») указаны для часовой интенсивности движения транспортных

средств. Фактические значения (графа «Видео») измерены для 15-минутных интервалов и пересчитаны для часовой интенсивности. Параметром оценки сопоставления показаний детекторов с фактическими значениями интенсивности движения транспортных средств стал 85-й процентиль. С точки зрения дорожного движения он показывает допустимость отклонения детектируемых значений интенсивности движения от фактических при нормальном движении не более 15 %. Фрагмент результатов представлен в таблице 2.

Таблица 2. Детектируемые и фактические показания интенсивности движения транспортных средств (фрагмент)

№	Светофорный объект (СО)	Направление	Время	Радар (авт/ч)	Видео (15 мин)	Видео (авт/ч)	85-й процентиль
1	Аэродромная – Авакяна	1	8:00:00	1336	584	2336	43 %
			8:15:00	1560	708	2832	45 %
			17:00:00	724	653	2612	72 %
			17:15:00	1616	599	2396	33 %
		2	8:00:00	852	698	2792	69 %
			8:15:00	2572	536	2144	-20 %
			17:00:00	2356	717	2868	18 %
			17:15:00	3636	662	2648	-37 %
		3	8:00:00	1056	67	268	-294 %
			8:15:00	1168	50	200	-484 %
			17:00:00	584	43	172	-240 %
			17:15:00	1304	38	152	-758 %
		5	8:00:00	3104	50	200	-1452 %
			8:15:00	744	29	116	-541 %
			17:00:00	452	37	148	-205 %
			17:15:00	760	33	132	-476 %
		6	8:00:00	1388	29	116	-1097 %
			8:15:00	1536	45	180	-753 %
			17:00:00	532	57	228	-133 %
			17:15:00	964	50	200	-382 %
		12	8:00:00	764	69	276	-177 %
			8:15:00	1128	53	212	-432 %
			17:00:00	220	84	336	35 %
			17:15:00	348	74	296	-18 %
2	Независимости – Волгоградская	7	8:00:00	144	23	92	-57 %
			8:15:00	84	38	152	45 %
			17:00:00	224	49	196	-14 %
			17:15:00	176	47	188	6 %
		12	8:00:00	468	97	388	-21 %
			8:15:00	364	79	316	-15 %
			17:00:00	428	111	444	4 %
			17:15:00	404	87	348	-16 %
3	Независимости – Ленина	1	8:00:00	1376	438	1752	21 %
			8:15:00	1292	442	1768	27 %
			17:00:00	1360	472	1888	28 %
			17:15:00	1520	453	1812	16 %
		2	8:00:00	1412	489	1956	28 %
			8:15:00	1584	481	1924	18 %
			17:00:00	1984	577	2308	14 %
			17:15:00	2092	534	2136	2 %
		6	8:00:00	356	97	388	8 %
			8:15:00	396	100	400	1 %
			17:00:00	376	99	396	5 %
			17:15:00	308	105	420	27 %

продолжение таблицы 2

№	Светофорный объект (СО)	Направление	Время	Радар (авт/ч)	Видео (15 мин)	Видео (авт/ч)	85-й процентиль
4	Тимирязева – Нарочанская	1	8:00:00	1368	607	2428	44 %
			8:15:00	1348	583	2332	42 %
			17:00:00	1368	392	1568	13 %
			17:15:00	1440	374	1496	4 %
		2	8:00:00	1520	406	1624	6 %
			8:15:00	1696	398	1592	-7 %
			17:00:00	2228	455	1820	-22 %
			17:15:00	2368	578	2312	-2 %
		6	8:00:00	136	29	116	-17 %
			8:15:00	120	32	128	6 %
			17:00:00	128	32	128	0 %
			17:15:00	128	30	120	-7 %
5	Толстого – Московская	1	8:00:00	3436	428	1712	-5 %
			8:15:00		392	1568	
			17:00:00	4792	490	1960	-17 %
			17:15:00		538	2152	
		2	8:00:00	1394	516	2064	66 %
			8:15:00		514	2056	
			17:00:00	2542	438	1752	33 %
			17:15:00		512	2048	
		3	8:00:00	512	11	44	-885 %
			8:15:00		2	8	
			17:00:00	994	16	64	-894 %
			17:15:00		9	36	
		18	8:00:00	1018	122	488	-4 %
			8:15:00		123	492	
			17:00:00	1440	151	604	-15 %
			17:15:00		163	652	
		19	8:00:00	2520	54	216	-421 %
			8:15:00		67	268	
			17:00:00	3974	166	664	-197 %
			17:15:00		169	676	
6	Партизанский – Ангарская	1	8:00:00	1652	797	3188	48 %
			8:15:00	2084	620	2480	16 %
			17:00:00	1608	641	2564	37 %
			17:15:00	1692	630	2520	33 %
		2	8:00:00	1968	603	2412	18 %
			8:15:00	2156	559	2236	4 %
			17:00:00	2116	524	2096	-1 %
			17:15:00	2044	569	2276	10 %
		3	8:00:00	260	73	292	11 %
			8:15:00	328	58	232	-41 %
			17:00:00	280	104	416	33 %
			17:15:00	324	71	284	-14 %

Оценка соответствия получаемых в АСУДД и VCC-платформу данных от детекторов транспорта реальным показателям показала допустимость отклонений для всех временных интервалов для трех направлений (для 6 % исследуемых направлений): направления 1 и 18 для СО «ул. Толстого – ул. Московская»; направление 11 для СО «ул. Богдановича – ул. Я. Купалы».

Для направлений, указанных ниже (для 18 % исследуемых направлений), было отмечено незначительное превышение допустимого 15-процентного отклоне-

ния детектируемых значений интенсивности движения транспортных средств от фактических показателей по некоторым сравниваемым временным интервалам: направление 12 для СО «пр-т Независимости – ул. Волгоградская»; направления 1, 2, 6 для СО «пр-т Независимости – ул. Ленина»; направления 2, 6 для СО «ул. Тимирязева – ул. Нарочанская»; направление 2 для СО «пр-т Партизанский – ул. Ангарская»; направление 2 для СО «пр-т Партизанский – ул. Кабушкина»; направление 6 для СО «ул. Притыцкого – ул. Лобанка».

Для остальных направлений превышение допустимых отклонений значительно (для 76 % исследуемых направлений): направления 1, 2, 3, 5, 6, 12 для СО «ул. Аэродромная – ул. Авакяна»; направление 7 для СО «пр-т Независимости – ул. Волгоградская»; направление 1 для СО «ул. Тимирязева – ул. Нарочанская»; направления 2, 3, 19 для СО «ул. Толстого – ул. Московская»; направления 1, 3 для СО «пр-т Партизанский – ул. Ангарская»; направления 2, 3, 4, 5, 6 для СО «ул.

Кижеватова – ул. Казинца»; направления 1, 6, 15 для СО «пр-т Партизанский – ул. Кабушкина»; направления 1, 2, 5, 6 для СО «ул. Аранская – МФК»; направления 1, 2 для СО «ул. Притыцкого – ул. Лобанка»; направления 1, 2, 3, 4, 5, 6 для СО «пр-т Дзержинского – ул. Гурского»; направления 1, 3, 4, 6, 8, 9 для СО «ул. М. Богдановича – ул. Я. Купалы». Получены графики распределения детектируемых интенсивностей движения транспортных потоков (рисунки 6 и 7).

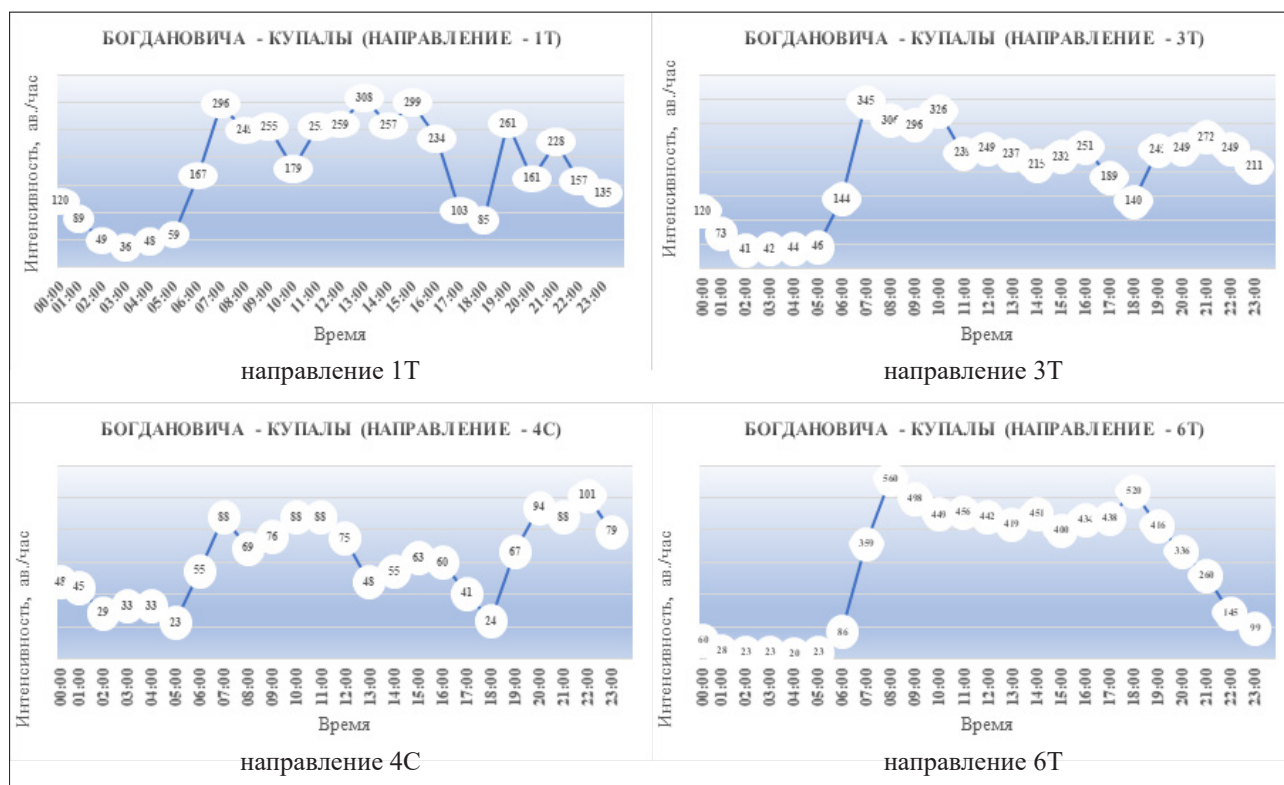


Рисунок 6. Распределение детектируемых показаний интенсивности движения транспортных средств по направлениям на перекрестке ул. М. Богдановича – ул. Я. Купалы

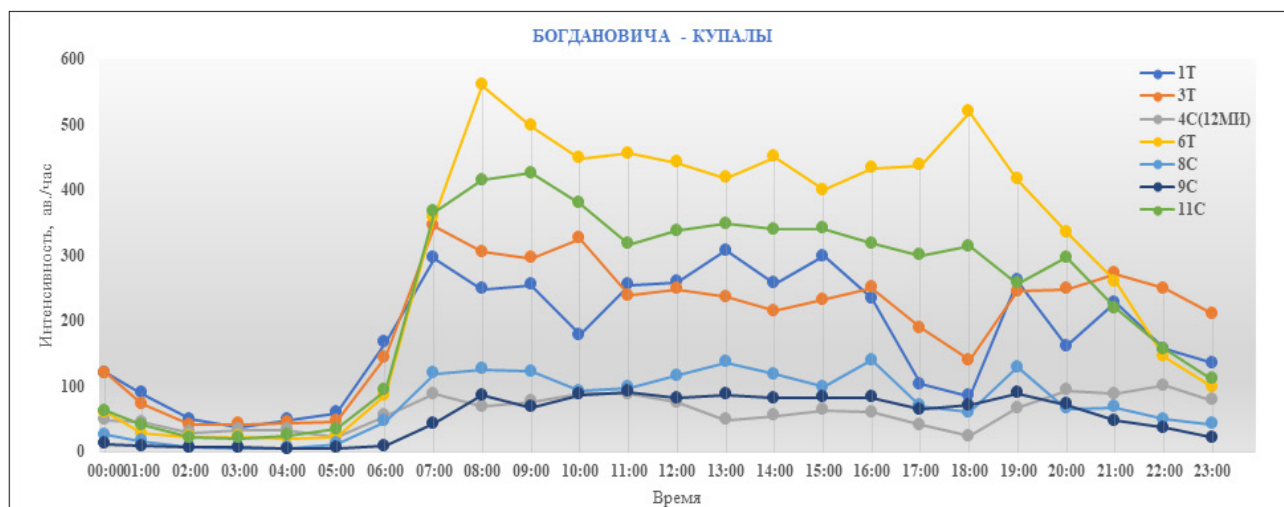


Рисунок 7. Распределение детектируемых показаний интенсивности движения транспортных средств на перекрестке ул. М. Богдановича – ул. Я. Купалы

Следует отметить, что в определенные промежутки времени (таблица 3) отмечено отсутствие выходных детектируемых показаний интенсивности дви-

жения. Исходя из анализа времени суток и данных в соседних с нулевым временных интервалах приведены вероятные причины сбоев работы детекторов.

Таблица 3. Сводные данные отсутствия выходных детектируемых показаний интенсивности движения транспортных средств (фрагмент)

№	Светофорный объект	Направление	Отсутствие данных				Примечание
			с	по	длительность, мин	суммарно за сутки, мин	
1	Аэродромная – Авакяна	1T	-	-	0	0	без сбоев
		2T	-	-	0	0	без сбоев
		3C	03:30	03:45	15	0	отсутствие трафика
			04:30	04:45	15		отсутствие трафика
			05:30	05:45	15		отсутствие трафика
		5C	00:15	03:15	180	300	сбой
			04:15	05:00	45		сбой
			05:30	06:30	60		сбой
			07:00	07:15	15		сбой
			23:15	23:30	15		отсутствие трафика
			23:45	00:00	15		отсутствие трафика
		6C	-	-	0	0	без сбоев
		12C	01:30	01:45	15	0	отсутствие трафика
			04:45	05:00	15		отсутствие трафика
2	Независимости – Волгоградская	7C	02:15	02:30	15	60	отсутствие трафика
			02:45	03:45	60		сбой
			04:15	04:30	15		отсутствие трафика
			04:45	05:00	15		отсутствие трафика
		12T	-	-	0	0	без сбоев
3	Независимости – Ленина	1T	03:00	04:15	75	150	сбой
			04:30	05:45	75		сбой
		2T	03:00	04:15	75	150	сбой
			04:30	05:45	75		сбой
		6C	03:00	04:15	75	150	сбой
			04:30	05:45	75		сбой
8	Партизанский – Кабушкина	1T	-	-	0	0	без сбоев
		2T	-	-	0	0	без сбоев
		6C	04:00	04:15	15	0	отсутствие трафика
		15C	01:15	01:30	15	0	отсутствие трафика
			03:00	03:15	15		отсутствие трафика
			04:15	04:30	15		отсутствие трафика
9	Аранская – МФК	1T	-	-	0	0	без сбоев
		2T	-	-	0	0	без сбоев
		5C	03:45	04:15	30	0	отсутствие трафика
		6T	01:30	02:15	45	0	отсутствие трафика
			02:45	05:00	135		отсутствие трафика
			05:15	05:45	30		отсутствие трафика
10	Притыцкого – Лобанка	1T	01:45	02:00	15	45	сбой
			08:15	08:30	15		сбой
			20:15	20:30	15		сбой
		2T	01:45	02:00	15	45	сбой
			03:00	03:15	15		отсутствие трафика
			08:15	08:30	15		сбой
			20:15	20:30	15		сбой
		6C	01:45	02:00	15	45	сбой
			08:15	08:30	15		сбой
			20:15	20:30	15		сбой
11	Дзержинского – Гурского	1T	-	-	0	0	без сбоев
		2T	-	-	0	0	без сбоев
		3T	-	-	0	0	без сбоев
		4C	03:00	03:15	15	0	отсутствие трафика
		5T	02:15	02:30	15	0	отсутствие трафика
		6C	02:45	03:00	15	0	отсутствие трафика
12	Богдановича – Купалы	1T	00:15	00:30	15	60	сбой
			15:45	16:00	15		сбой
			19:00	19:15	15		сбой
			22:15	22:30	15		сбой

Для более наглядного анализа применим общепринятую метрику – среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE – Mean Absolute Percentage Error) (является стандартной метрикой для оценки точности

измерений или прогнозов). Она показывает среднее процентное отклонение измеренных значений от реальных, что делает ее более наглядной и универсальной, и определяется по известной формуле:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100, \%$$

где n – количество измерений (временных интервалов) (обычно 4 для каждого направления); A_i – фактическое значение интенсивности из видеоанализа (столбец «Видео (авт/ч)»); F_i – значение, зафиксированное детектором «Радар» (столбец «Радар (авт/ч)» (из таблицы 2).

Значения $MAPE > 15-30\%$ уже считаются очень плохим показателем точности; значения выше 100% – свидетельствуют о полной неработоспособности детектора.

Основываясь на данных из таблицы 2, определена $MAPE$ для каждого направления (таблица 4). Направления с ошибкой до 15% (удовлетворительно) выделены зеленым, с ошибкой $15-50\%$ (плохо, нужна калибровка) – желтым, с ошибкой свыше 50% (неприемлемо, нужна замена / отключение) – красным.

Таблица 4. Сводная таблица $MAPE$ для всех исследованных направлений

№	Светофорный объект	Направление	$MAPE, \%$
1	Аэродромная – Авакяна	1	48.1
		2	36.0
		3	439.0
		5	743.8
		6	541.3
		12	281.5
2	Независимости – Волгоградская	7	22.3
		12	12.0
3	Независимости – Ленина	1	23.5
		2	15.5
		6	5.3
4	Тимирязева – Нарочанская	1	25.8
		2	9.5
		6	7.5
5	Толстого – Московская*	1	17.0
		2	49.5
		3	939.5
		18	9.5
		19	259.0
6	Партизанский – Ангарская	1	33.5
		2	6.8
		3	17.3
7	Кижеватова – Казинца*	2	157.0
		3	539.0
		4	1078.8
		5	395.5
		6	832.3
8	Партизанский – Кабушкина	1	59.3
		2	15.8
		6	18.0
		15	30.5
9	Аранская – МФК	1	23.5
		2	131.8
		5	2338.2
		6	1264.0
10	Притыцкого – Лобанка*	1	28.0
		2	69.0
		6	20.0
11	Дзержинского – Гурского	1	34.0
		2	89.5
		3	44.0
		4	33.0
		5	94.0
		6	69.0
12	Богдановича – Купалы	1	79.5
		3	60.0
		4	63.5
		6	59.5
		8	85.0
		9	33.0
		11	7.5

Примечание: для направлений, где отсутствовали данные за один из интервалов, $MAPE$ рассчитывался по имеющимся трем интервалам.

По результатам расчетных исследований можно создать «рейтинг» худших детекторов путем выделения 5–10 направлений с самыми абсурдными показаниями (например, СО «Аэродромная – Авакяна») (таблица 5).

Эти детекторы не просто неточны – они передают в систему управления абсолютно абсурдные данные, делая любое адаптивное регулирование невозможным и потенциально опасным.

Таблица 5. 10 худших детекторов по направлениям

Место в антирейтинге	Светофорный объект, Направление	МАРЕ, %	Краткий анализ ситуации
1	Аранская – МФК, напр. 6	1264.0 %	Детектор систематически занижает реальную интенсивность в 15–20 раз. Данные абсолютно непригодны
2	Аранская – МФК, напр. 5	2338.2 %	При реальном потоке 84–112 авт/ч детектор показывает 1648–2128, завышая данные в 20–30 раз
3	Аэродромная – Авакяна, напр. 5	743.8 %	Детектор показывает интенсивность 3104 и 744 там, где едет 200 и 116 автомобилей (завышение в 5–15 раз)
4	Аэродромная – Авакяна, напр. 3	439.0 %	Детектор стабильно завышает низкий реальный трафик (200–260 авт/ч) в 4–8 раз
5	Кижеватова – Казинца, напр. 6	832.3 %	Детектор показывает 2580 авт/ч при реальных 140
6	Кижеватова – Казинца, напр. 4	1078.8 %	Детектор показывает ~ 4000 авт/ч при реальных 300–400. Ошибка на порядок
7	Кижеватова – Казинца, напр. 3	539.0 %	Детектор фиксирует 3500–5000 авт/ч при реальном потоке в 600–700
8	Толстого – Московская, напр. 19	259.0 %	Детектор стабильно показывает в 3–4 раза более высокую интенсивность, чем есть на самом деле
9	Аэродромная – Авакяна, напр. 6	541.3 %	Завышение показаний при низком трафике (показывает 1388, когда едет 116)
10	Аранская – МФК, напр. 2	131.8 %	Детектор стабильно показывает более чем в два раза превышающую реальность интенсивность

Из 47 проанализированных направлений только 6 (13 %) показывают приемлемую точность ($МАРЕ < 15\%$); 15 направлений (32 %) показывают плохие результаты, требующие срочной калибровки; 26 направлений (55 %) демонстрируют совершенно неприемлемую точность с ошибками от 50 % до более чем 2000 %. Эти детекторы не подлежат калибровке и должны быть либо заменены, либо их данные должны быть немедленно исключены из контура управления АСУДД. Этот количественный анализ позволяет сделать вывод о том, что система сбора данных неисправна и требует немедленного вмешательства.

Анализ показал, что для 76 % исследованных направлений расхождение между показаниями радарных детекторов и фактическими данными превышает допустимый порог в 15 %. Более того, зафиксированы экстремальные аномалии с процентной ошибкой ($МАРЕ$), достигающей нескольких сотен и даже тысяч процентов. Это свидетельствует о том, что подсистема сбора данных об интенсивности в ее текущем состоянии непригодна для использования в задачах адаптивного управления движением.

Ошибки носят несистематический характер: в 48 % случаев детекторы завышают показания, в 52 % – занижают. Это исключает возможность введения простого поправочного коэффициента и указывает на глубокие проблемы либо в самой технологии, либо в методике установки и калибровки оборудования.

Система управления, получающая на вход настолько искаженные данные, не может функциониро-

вать корректно. Принимаемые ею решения (изменение длительности фаз светофора) не соответствуют реальной дорожной обстановке, что может приводить не к оптимизации, а к усугублению заторов и созданию аварийных ситуаций.

Существующая сеть Bluetooth-детекторов полезна для индикативной оценки скоростных режимов, но из-за неполного покрытия, периодических сбоев и отсутствия возможности трекинга уникальных устройств она не может служить основой для построения общегородской транспортной модели и матриц корреспонденций.

Предлагаемые мероприятия:

- необходимо провести дополнительную диагностику настройки программного обеспечения и уточнить пороги для определения транспортного средства, чтобы скорректировать реакции на посторонние помехи;
- откалибровать чувствительность учитываемых сдвигов частоты отраженной волны, в том числе при высокой загрузке движением зоны детектирования, для предотвращения проблемы при регистрации транспортного средства и искажения спектра сигнала;
- уточнить параметры реакции при работе специальных фаз, в том числе при продлении горения зеленого сигнала;
- уточнить зоны детектирования для фиксации транспортных средств измеряемого направления движения без захвата зон маневрирования и идентификацию всех транспортных средств в зоне обнаружения.

По результатам исследований выполнена технологическая привязка детекторов транспорта на 13 объектах к

управляющим воздействиям на основе разработанной технологии управления дорожным движением (рисунок 8).

СО «ул. Кижеватова – ул. Сероба»

№	Наименование	Кол.
1	Блютюз-сенсор DeepBlue v2t V-model с 4G модемом, включая Bluetooth, Wi-Fi, BLE модули (PoE-коннектор, 4G/LTE-Modem, GPS, внутреннюю антенну для GPS и 4G/LTE, внутреннюю направленную антенну для Bluetooth (15dB), внешнюю OMNI антенну для Wi-Fi и BLE (4 dB), 12-48 V сплиттер), включая программный коннектор VCC, в комплекте с креплением; (или аналог)	1 компл.
2	Кабель для подключения блютюз-сенсора, F/UTP Cat5e 4x2x0.52 PVC/PE (PoE+): Кабель 1: Дорожный контроллер – блютюз-сенсор №1 (колонка K11) – 55м	55 м
3	Вилка RJ-45	2 шт.
4	Труба гофрированная ПВХ серая с зондом d20 (для защиты кабеля F/UTP)	55 м
5	Лента крепления F207 20x0.7	3 м
6	Скрепки для крепления ленты A200	3 шт.

1. Блютюз-сенсор №1 установить на сущ. светофорной колонке K11, на высоте 5.6 м (колонку удлинить до 6 м посредством металлической трубы);
2. Кабель подключения проложить в существующей кабельной канализации в гофрированной ПВХ трубе;

Рисунок 8. Вариант технологической привязки детекторов транспорта

Заключение

Проведенное исследование выявило системный кризис в подсистеме сбора данных ИТС г. Минска. Фундамент, на котором должна строиться любая «умная» система управления, оказался крайне ненадежным. Дальнейшие инвестиции в развитие управляющих алгоритмов АСУДД бессмысленны до тех пор, пока не будет решена проблема качества исходных данных.

Сложившаяся ситуация несет прямые экономические и социальные риски.

- Экономические: неэффективное управление светофорами ведет к увеличению времени в пути, перепробегу транспорта, повышенному расходу топлива и росту экологической нагрузки.

- Социальные: рост заторов вызывает социальное напряжение, а неадекватные управляющие воздействия могут провоцировать опасные маневры и снижать общий уровень безопасности дорожного движения.

Для выхода из сложившейся ситуации предлагается следующая «дорожная карта».

1. Немедленные действия.

- Провести полную инвентаризацию всех радарных детекторов. Составить рейтинг детекторов по уровню достоверности данных.

- Отключить от контура адаптивного управления АСУДД те детекторы, МАРЕ которых превышает 50 %, переведя соответствующие светофорные объекты на работу по «жестким» суточным планам. Это позволит избежать принятия заведомо неверных решений.

2. Среднесрочные действия (технический аудит и калибровка).

- Для детекторов с ошибкой 15–50 % провести полномасштабную повторную калибровку. Необходимо проанализировать причины искажений: неправильная установка (угол, высота), электромагнитные помехи, проблемы с ПО.

- Детекторы с ошибкой > 50 % должны быть признаны неисправными и подлежат замене. Следует рассмотреть возможность пилотного внедрения детекторов от альтернативных производителей или на основе других технологий (например, видеоаналитики с использованием нейронных сетей).

3. Долгосрочные стратегические действия.

- Разработать и внедрить регламент регулярной верификации данных. Необходимо создать постоянно действующую систему выборочного контроля (например, с использованием нескольких эталонных видеокамер), чтобы отслеживать деградацию точности детекторов во времени.

- Внедрить на уровне VCC-платформы алгоритмы валидации и очистки данных «на лету». Система должна автоматически распознавать аномальные показания (например, скачок интенсивности с 200 до 3000 авт/час за 15 минут), помечать такие данные как недостоверные и использовать для управления интерполированные или исторические значения.

- Пересмотреть стратегию развития сети Bluetooth-детекторов. Необходимо проработать вопрос модернизации оборудования для считывания и анонимизации MAC-адресов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капский, Д. В. Управление в интеллектуальной транспортной системе г. Минска / Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 5. С. 401–412. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-5-401-412.
2. Координированное управление дорожным движением / Ю. А. Врубель [и др.]. Минск : БНТУ, 2011. 229 с.
3. Капский, Д. В. Использование навигационных данных / Д. В. Капский, В. В. Касьяник // Мир дорог. 2018. № 106. С. 48–51.
4. Румянцев, Е. А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9. С. 148–151.
5. Иносэ, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. М. : Транспорт, 1983. 248 с.
6. Капитанов, В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. М. : Транспорт, 1985. 94 с.
7. Пржибыл, П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек. М. : МАДИ (ГТУ), 2003. 540 с.
8. Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии / И. Н. Пугачев, Д. В. Капский, Д. В. Навой [и др.]. Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2020. 230 с.
9. Капский, Д. В. Создание интеллектуальной транспортной системы крупнейших городов / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2017. № 3. С. 66–75. URL: <https://journals.psu.by/industry/article/view/3526> (дата обращения: 20.01.2026).
10. Капский, Д. В. Развитие автоматизированной системы управления дорожным движением Минска как части интеллектуальной транспортной системы города / Д. В. Капский, Д. В. Навой // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 1. С. 38–47. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-1-38-48.
11. Кот, Е. Н. Технические средства организации дорожного движения : практикум : учебное пособие / Е. Н. Кот, Д. В. Капский, А. В. Коржова. Минск : БНТУ, 2016. 239 с. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/23560>.
12. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем : учебник / Д. В. Капский, Е. Н. Кот, С. В. Богданович [и др.]. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. 412 с.

REFERENCES

1. Kapskiy D.V., Navoy D.V., Pegin P.A. Control of intelligent transport system in Minsk. Science & Technique. 2018;17(5):401–412 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-401-412>
2. Vrubel Yu.A., Kapski D.V., Rozhansky D.V., Navoy D.V., Kot E.N. Koordinirovannoe upravlenie dorozhnym dvizheniem [Coordinated traffic management]. Minsk: BNTU; 2011. 230 p. (in Russian).
3. Kapski D.V., Kasyanik V.V. Use of navigation data. Mir dorog [A world of roads]. 2018;106:48–51 (in Russian).
4. Rummyantsev E.A. Improving methods evaluating traffic flow conditions in city road network. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta = The Bulletin of Irkutsk State University. 2012;9:148–151 (in Russian).
5. Inose H., Hamada T. Upravlenie dorozhnym dvizheniem [Traffic management]. Moscow: Transport; 1983. 248 p. (in Russian).
6. Kapitanov V.T., Khilazhev E.B. Upravlenie transportnymi potokami v gorodah [Urban traffic management]. Moscow: Transport; 1985. 94 p. (in Russian).
7. Przhibyl P., Svitek M. Telematika na transporte [Telematics in transport]. Moscow: MADI (GTU); 2003. 540 p. (in Russian).
8. Pugachev I.N., Kapski D.V., Navoy D.V., Markelov G.Y., Topmозov V.S., Shcheglov V.I. Sinergiya podhodov k sovershenstvovaniyu intellektualnykh transportnykh sistem gorodov v Rossii i Belorussii [Synergy of approaches to improving intelligent transport systems of cities in Russia and Belarus]. Khabarovsk: Izdatelstvo TOGU; 2020. 230 p. (in Russian).
9. Kapski D.V., Navoy D.V. Creating an intelligent transport system for the largest cities. Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost. Prikladnye nauki [Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences]. 2017;3:66–75. (in Russian). Available at: <https://journals.psu.by/industry/article/view/3526> (accessed 20 January 2026).
10. Kapskiy D.V., Navoy D.V. Development of the automated road traffic control systems in Minsk as part of the intellectual city transport system. Science & Technique. 2017;16(1):38–48 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-1-38-48>.
11. Kot E.N., Kapski D.V., Korzhova A.V. Tehnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya [Technical means of traffic management]. Minsk: BNTU; 2016. 239 p. (in Russian).
12. Kapski D.V., Kot E.N., Bogdanovich S.V., Larin O.N., Semchenkov S.S. Osnovy avtomatizatsii intellektualnykh transportnykh sistem [Fundamentals of automation of intelligent transport systems]. Moscow: Vologda: Infra-Engeneriya; 2022. 412 p. (in Russian).

D. V. KAPSKI, A. V. KORZHOVA

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR MONITORING TRAFFIC FLOWS USING A BLUETOOTH DETECTOR NETWORK

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This article analyzes the potential of the existing Bluetooth detector network for constructing traffic models and analyzing traffic flow redistribution. It also attempts to validate readings from stationary radar detectors by comparing them with reference data obtained through video analysis. This article monitors traffic detector readings and assesses the compliance of traffic detector data received by the automated traffic management system and the VCC platform with actual data. The technology links traffic detectors to control actions based on the developed traffic management technology. Suggestions are made regarding the need for calibration and adjustment of traffic detector positions. A roadmap is proposed for addressing the identified deficiencies and improving the quality of data, which is the foundation for safe and effective traffic management within the ITS framework.

Keywords: monitoring, detection, traffic flows, ITS, Bluetooth detector



Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет. Доктор технических наук, профессор; профессор кафедры «Транспортные системы и технологии».

Высшая аттестационная комиссия (ВАК) Республики Беларусь, заместитель председателя ВАК.

Проводит исследования в области организации движения, технических средств регулирования и информационно-алгоритмического обеспечения управления движением, транспортного планирования и математического моделирования процессов транспортных систем.

Denis V. Kapski

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus.

Doctor of Science (Engineering), Professor; Professor of the Department of Transport Systems and Technologies.

Vice-chairman of the Higher Attestation Commission (HAC) of the Republic of Belarus.

Conducts research in the field of traffic management, technical means of regulation and information and algorithmic support for traffic control, transport planning and mathematical modeling of transport systems processes.

E-mail: d.kapsky@bntu.by



Коржова Антонина Владимировна

Филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт». Магистр технических наук, заведующая сектором дорожного движения Научно-исследовательского центра дорожного движения (НИЦ ДД). Проводит исследования в области организации движения и технических средств регулирования.

Antonina V. Korzhova

Research Polytechnic Institute (Belarusian National Technical University). Master of Engineering. Head of the traffic sector at the Research and testing center for vehicles. Conducts research in the field of traffic organization and technical control means.

E-mail: nicdd@bntu.by