

Научная статья  
 DOI: 10.15593/24111678/2023.03.07  
 УДК 656.1

**А.С. Вавилин**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
 Пермь, Российская Федерация

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Изучение транспортных заторов требует определения научно обоснованного критерия их формирования, развития и ликвидации с использованием современных способов обработки информации о потоках автомобилей. Традиционно для сбора информации о транспортных потоках используются различные виды детекторов транспорта: радиолокационные, ультразвуковые, индуктивные, видеодетекторы. Видеодетекторы с применением технологии оптического распознавания государственных регистрационных знаков позволяют, помимо сбора информации об интенсивности, скорости движения ТС, строить матрицы корреспонденции, измерять время движения транспортных средств по исследуемым участкам улично-дорожной сети. Для выполнения такого исследования разработан аппаратно-программный комплекс мониторинга транспортных потоков, позволяющий распознавать государственные регистрационные знаки транспортных средств, время их появления и прочее, что позволит использовать комплекс для вычисления продолжительности движения транспортных средств по исследуемым участкам улично-дорожной сети. Отличительной особенностью разработанного комплекса является использование современных вычислительных средств, отличающихся высокой производительностью в сочетании с низким энергопотреблением. Сформулированы критерии выбора аппаратных средств комплекса, проведён сравнительный анализ различных вариантов. Обоснован выбор видеокамеры, а также вычислителя по соотношению «цена/возможности». Представлено описание компонентов аппаратного обеспечения комплекса, а также взаимодействие его элементов между собой. Приведена структура программного обеспечения, описано взаимодействие элементов программного обеспечения между собой и с аппаратной частью. Целесообразно использование разработанного комплекса в задачах анализа транспортных потоков на участках улично-дорожной сети, не оснащённых комплексами фото- и видеофиксации. Предлагаемый аппаратно-программный комплекс может быть использован для мониторинга различных параметров транспортных потоков.

**Ключевые слова:** аппаратно-программный комплекс, транспортный затор, поток транспорта, интенсивность движения, продолжительность движения по дороге.

**A.S. Vavilin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR TRAFFIC FLOW MONITORING**

The study of traffic congestion requires the definition of a scientifically based criterion for their formation, evolution and elimination using modern methods of processing information about car flows. Traditionally, various types of transport detectors are used to collect information about traffic flows: radar, ultrasonic, inductive, video detectors. Video detectors using the technology of optical recognition of license plates make it possible, in addition to collecting information about the intensity and speed of the vehicle, to build correspondence matrices, measure the duration of movement of vehicles along the studied sections of the road network. To perform such a study, a hardware and software complex for monitoring traffic flows has been developed, which makes it possible to recognize the license plates of vehicles, the time of their appearance, etc., which will allow using the complex to calculate the duration of the movement of vehicles along the studied sections of the road network. A distinctive feature of the developed complex is the use of modern computing tools, characterized by high performance combined with low power consumption. The criteria for choosing the hardware of the complex are formulated, and a comparative analysis of various options is carried out. The choice of a video camera, as well as a computer, is substantiated in terms of price/performance ratio. A description of the hardware components of the complex, as well as the interaction of its elements with each other, is presented. The structure of the software is given, the interaction of software elements with each other and with the hardware is described. It is advisable to use the developed complex in the tasks of analyzing traffic flows in sections of the road network that are not equipped with traffic enforcement complexes. The proposed hardware-software complex can be used to monitor various parameters of traffic flows.

**Keywords:** hardware and software complex, traffic congestion, traffic flow, traffic intensity, duration of movement on the road.

## Введение

Проблема транспортных заторов является приоритетной для транспортной системы [1–3]. Причинами их образования являются общий рост числа автомобилей [4], дорожно-транспортные происшествия [5], уменьшение пропускной способности дороги [6–8], повышение плотности автомобилей на участке дороги [9], увеличение грузового автомобильного парка и объема перевозок [10; 11], наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов [12], установка светофоров с большим количеством фаз [13], несогласованность их работы [14], строительные-ремонтные работы [15], нерациональная организация работы пунктов взимания платы за проезд [16], человеческий фактор [12; 17; 18] и другие причины.

В настоящее время в РФ понятие транспортного затора закреплено стандартом ГОСТ Р 55691-2013/ISO/TS 15624: 2001 «Системы управления и информации на транспорте. Системы оповещения о дорожных происшествиях (TIWS). Требования к системе»: «Затор (*traffic impediment*): скопление транспортных средств, вынужденных существенно снижать скорость движения вплоть до полного его прекращения в пределах одной или нескольких полос движения из-за каких-либо помех движению». Следует отметить преимущественно качественный характер этого определения и отсутствие в настоящее время количественного показателя, позволяющего оценивать этапы существования транспортного затора.

Из определения следует, что количественной основой для построения критерия транспортного затора может выступать скорость движения автомобилей в транспортном потоке, изменяющаяся от максимально разрешенного значения вплоть до нуля, то есть до полной остановки. Определить истинную, или мгновенную скорость автомобиля, в каждый момент времени без применения специальных технических средств в современных условиях невозможно.

Поскольку аппаратно-программные комплексы фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения позволяют фиксировать государственный регистрационный знак (то есть идентифицировать конкретный автомобиль), моменты начала и окончания его перемещения по исследуемому участку, это позволяет определять среднюю скорость движения каждого автомобиля, движущегося между контрольными рубежами, общую интенсивность движения автомобилей и прочие характеристики для дальнейшего статистического, фрактального, Фурье-, вейвлет-анализа показателей транспортных потоков [19–22].

В то же время стоимость комплекса фото-, видеофиксации достаточно высока, что не позволяет оснастить такими комплексами все необходимые участки улично-дорожной сети. Разработанный аппаратно-программный комплекс сочетает в себе возможность распознавания государственных регистрационных знаков при относительно невысокой стоимости его производства, а также возможность использования в передвижном варианте. Это позволит проводить работы по мониторингу транспортных потоков на участках улично-дорожной сети, не оснащенных стационарными комплексами фото- и видеофиксации.

### 1. Состав аппаратно-программного комплекса

Аппаратно-программный комплекс реализован по модульному принципу. Комплекс состоит из видеокамеры высокого разрешения, оптимизированной для задач распознавания государственного регистрационного знака и фиксации транспортных средств, а также вычислительного модуля, содержащего источник питания и специализированный компьютер. Общая схема построения комплекса приведена на рис. 1.

Модульность построения позволяет при необходимости заменять составные части комплекса, что даёт большую гибкость при реализации различных проектов.

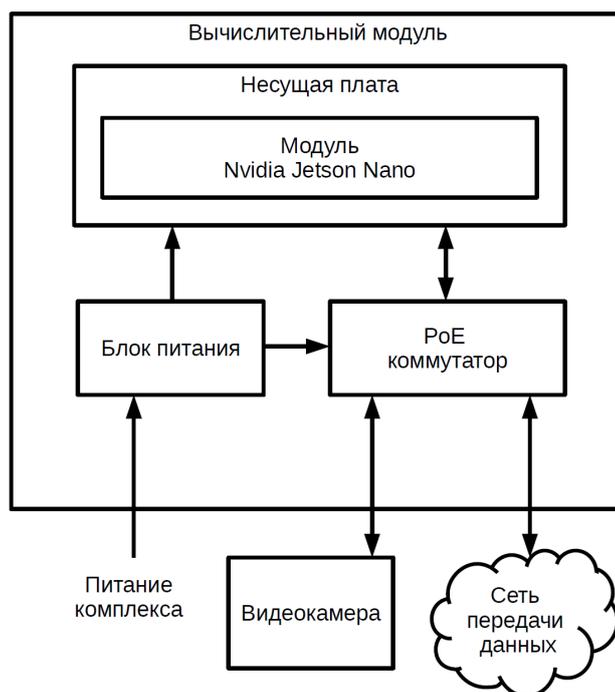


Рис. 1. Схема построения программно-аппаратного комплекса

### 1.1. Видеокамера

Для распознавания государственного регистрационного знака камера (рис. 2) должна обладать следующими особенностями:

- возможностью ручной установки или ограничения длительности выдержки электронного затвора, поскольку автомобили являются высокодинамичными объектами наблюдения, и при выдержках выше 2 мс распознавание государственного регистрационного знака становится проблематичным ввиду «смазывания» изображения;
- достаточной чувствительностью для формирования изображения с различимыми государственными регистрационными знаками при длительности выдержки 2 мс и менее; как правило, камеры видеонаблюдения в тёмное время суток существенно увеличивают время выдержки электронного затвора, что благоприятно влияет на яркость изображения, но неприемлемо для наблюдения за высокодинамичными объектами;
- достаточным диапазоном регулировки фокусного расстояния объектива.



Рис. 2. Внешний вид видеокамеры Hikvision iDS-TCM203-A/R- 832

Перечисленным особенностям удовлетворяют видеокамеры следующих марок (табл. 1):

- Hikvision iDS-2CD7A45G0-IZHS [23] – камера видеонаблюдения с длиннофокусным объективом. Недостатки: ввиду малого размера сенсора при большем разрешении, по сравнению с другими вариантами, обладает худшей чувствительностью; при сравнительных испытаниях было выявлено, что качество изображения в тёмное время суток не позволяет корректно распознавать государственный регистрационный знак;

– Hikvision MV-CA050-10GM [24#25] + TUSS VISON VT4Z1450MFZPT [25] – камера машинного зрения с вариофокальным моторизованным объективом. Достоинства: камера обеспечивает качество изображения, достаточное для распознавания государственного регистрационного знака как в светлое, так и в тёмное время суток; для целей мониторинга транспортных потоков её характеристики являются избыточными;

– Hikvision iDS-TCM203-A/R-0832 [26] – камера предназначена для распознавания государственного регистрационного знака и обеспечивает необходимое качество для этих целей. По соотношению «цена/качество» является оптимальным вариантом.

Таблица 1

Сравнительные технические характеристики видеокамер наблюдения

Характеристика	Hikvision iDS-2CD7A45G0-IZHS	Hikvision iDS-TCM203-A/R-0832	Hikvision MV-CA050-10GM + TUSS VISON VT4Z1450MFZPT
Назначение камеры	Видеонаблюдение	Распознавание ГРЗ	Машинное зрение
Размер сенсора	1/2,5"	1/1,8"	2/3"
Максимальное разрешение, pixel	2688x1520	1920x1080	2448x2048
Режим день / ночь	Механический ИК фильтр	Механический ИК фильтр	Нет
Фокусное расстояние, мм	От 4,7 до 118 мм	От 8 до 30 мм	От 14 до 50 мм
ИК подсветка	Встроенная	Встроенная	Нет
Ориентировочная цена, тыс. руб.	75	50	150

В качестве видеокамеры для аппаратно-программного комплекса выбрана модель Hikvision iDS-TCM203-A/R-0832. Эта видеокамера обеспечивает качественное изображение как в светлое, так и в тёмное время суток, что позволяет обеспечить высокое качество распознавания государственных регистрационных знаков и типов транспортных средств. Встроенный вариофокальный объектив с функциями удалённого управления увеличением и фокусным расстоянием позволяет упростить монтаж и пуско-наладочные работы.

### 1.2. Вычислительный модуль

Для функционирования современных нейросетевых алгоритмов детектирования транспортных средств и распознавания государственных регистрационных знаков требуются существенные вычислительные ресурсы. Актуальные вычислительные платформы содержат в своём составе аппаратные блоки, предназначенные для ускорения нейросетевых алгоритмов. Указанным требованиям удовлетворяют аппаратные блоки марок, приведенных в табл. 2. В результате сравнительного анализа выбран модуль Nvidia Jetson Nano [27] (рис. 3) как пример оптимального для данной задачи соотношения вычислительной мощности, энергопотребления и стоимости. Вычислительный модуль представляет собой компактный всепогодный компьютер.

Таблица 2

Сравнительные технические характеристики вычислительных модулей

Характеристика	Nvidia Jetson Nano	Nvidia Xavier NX	Raspberry Pi 4
Центральный процессор	4 ядра, 1430 МГц ARM Cortex-A57	6 ядер, ARM	4 ядра, 1500 МГц, ARM Cortex-A72
Объём ОЗУ, Гб	4 Гб	8 Гб	4 Гб
Объём накопителя, Гб	16 Гб	32 Гб	Отсутствует; microSD
Производительность нейросетевого ускорителя, Гфлопс	472 Гфлопс	6 Тфлопс	Отсутствует
Энергопотребление, Вт	10 Вт	15 Вт	10 Вт
Стоимость, тыс. руб.	15 000 руб.	40 000 руб.	18 000 руб.

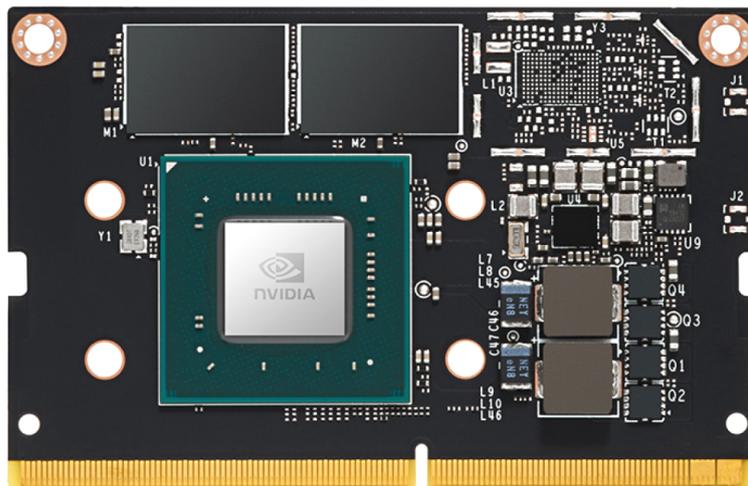


Рис. 3. Внешний вид модуля Nvidia Jetson Nano

Вычислительный модуль содержит в своём составе блок питания, PoE-коммутатор, специализированный компьютер. В табл. 3 представлены характеристики модуля Nvidia Jetson Nano [28], выбранного в качестве вычислительной платформы. Такое решение характеризуется компактными размерами, высокой энергоэффективностью, низкой ценой при достаточно высокой вычислительной мощности.

Таблица 3

Характеристики вычислительного модуля Nvidia Jetson Nano

Характеристика	Показатель
Графический процессор	Архитектура NVIDIA Maxwell™ с 128 ядрами NVIDIA CUDA®
Процессор	Четырёхъядерный процессор ARM® Cortex®-A57 MPCore
Память	4 Гб LPDDR4, 64-bit
Память	16 Гб eMMC 5.1 Flash
Кодирование видео	Разрешение 4К, частота 30 (H.264/H.265)
Декодирование видео	Разрешение 4К, частота 60 (H.264/H.265)
Камера	12 каналов (3x4 или 4x2) MIPI CSI-2 DPHY 1.1 (18 Гбит/с)
Подключение	Gigabit Ethernet
Дисплей	Разъем HDMI 2.0 или DPI.2 eDP 1.4 2 одновременно подключаемых разъема DSI (1x2)
УРНУ	Один разъем 1#2#4 PCIe, один разъем USB 3.0, 3 разъема USB 2.0
Ввод/вывод данных	Один разъем SDIO / 2 разъема SPI / 4 разъема I2C / 2 разъема 12 S / GPIO
Размер	69,6 мм x 45 мм
Интерфейс	Разъем 260-pin

Jetson Nano обеспечивает вычислительную производительность на уровне 472 Гфлопса для быстрой работы современных алгоритмов искусственного интеллекта. Благодаря возможности параллельной работы нескольких нейронных сетей и одновременной обработки нескольких высокоточных датчиков платформа представляет собой удачное решение для реализации различных приложений.

### 1.3. Вспомогательные элементы

К вспомогательным элементам комплекса относятся: блок питания, несущая плата и PoE-коммутатор.

Блок питания предназначен для формирования напряжения, необходимого для функционирования остальных компонентов комплекса. Блок питания позволяет питать комплекс как от переменного тока номинальным напряжением 220 В, так и от постоянного тока в диапазоне на-

пряжений от 9 до 36 В. Это даёт возможность использовать комплекс не только в стационарном, но и в передвижном варианте, а кроме того, в совокупности с невысокой потребляемой мощностью даёт возможность питания от альтернативных источников энергии.

Несущая плата предназначена для размещения на ней модуля Jetson Nano и обеспечения его питания и связи с остальными компонентами комплекса.

PoE (Power over Ethernet) коммутатор обеспечивает соединение элементов комплекса по сети Ethernet, а также питание видеокamеры и связь комплекса с внешними информационными системами. Применение PoE для питания камеры позволяет сократить число соединений и уменьшает время монтажа и пуско-наладочные работы при монтаже комплекса.

## 2. Взаимодействие аппаратной и программной частей комплекса

Программная часть комплекса основана на операционной системе Ubuntu 18.04 для процессорной архитектуры ARM64. Операционная система специальным образом адаптирована для работы в жестких условиях. Для повышения устойчивости к сбоям питания загрузка операционной системы осуществляется из раздела, подключенного в режиме «только чтение». Все конфигурационные файлы при этом хранятся в отдельном разделе, а информация, которая формируется в процессе работы комплекса, хранится на отдельном физическом носителе. Это предотвращает возможное повреждение системных файлов при сбое питания. Специализированное программное обеспечение реализовано в виде модулей. Обновление специализированного программного обеспечения происходит путём замены модулей. Для этого реализован специализированный механизм обновления.

Для настройки и контроля работоспособности комплекса реализован WEB-интерфейс.

Схема взаимодействия аппаратной и программной частей комплекса представлена на рис. 4. Обработка информации комплексом начинается с получения сжатого видеопотока от видеокamеры по протоколу RTSP. Далее с использованием аппаратного декодера видео Nvidia Jetson видеопоток в формате H.264 преобразуется в последовательность некомпьюрированных кадров, которые обрабатываются с помощью нейросетевых алгоритмов.

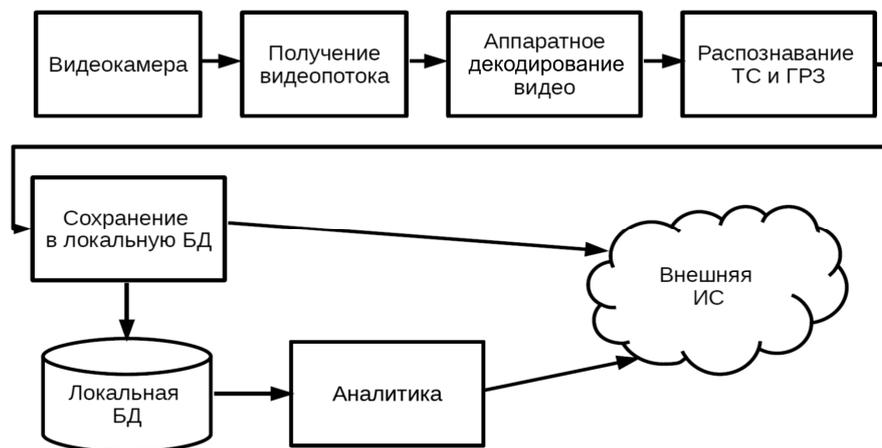


Рис. 4. Схема взаимодействия аппаратной и программной частей комплекса

Таким образом, осуществляется детекция и распознавание транспортных средств и их государственных регистрационных знаков. Далее данные о распознанных транспортных средствах и государственных регистрационных знаках сохраняются в локальной базе данных, содержащей как изображения транспортных средств, так и метаинформацию (дата, время фиксации транспортного средства, государственный регистрационный знак, класс транспортного средства и проч.). Указанная информация обрабатывается с использованием алгоритмов, описанных выше.

Результаты работы алгоритмов аналитики и данные о фиксации транспортных средств передаются во внешние информационные системы.

Комплекс рассчитан на питание как от переменного напряжения 220 В, так и от постоянного напряжения в диапазоне от 9 до 30 В. Это позволяет использовать комплекс как в стационарном, так и в передвижном варианте. На рис. 5 представлен внешний вид комплекса в передвижном исполнении.

### Заключение

Разработанный аппаратно-программный комплекс может быть использован для сбора информации о проходящих транспортных средствах в целях мониторинга транспортных потоков и транспортных заторов. Собранная с его помощью информация использована для обработки данных систем фото- и видеофиксации способами, изложенными в [19–22]. Передвижной вариант комплекса позволяет выполнять мониторинг транспортных потоков в местах, не оборудованных стационарными комплексами фото- и видеофиксации, что позволяет снизить затраты на проведение мероприятий по мониторингу транспортных потоков.



Рис. 5. Внешний вид комплекса в передвижном исполнении

### Список литературы

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 423 с.
2. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т. 3, № 1 (19). – С. 77–84.
3. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
4. Обследование городской транспортной сети с применением измерительного комплекса / А.С. Евтеева, К.П. Андреев, А.В. Шемякин, В.В. Терентьев // Транспортное дело России. – 2018. – № 1. – С. 132–134.
5. Kumar P., Vinodh Kumar S., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road. // IOT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2023. – Vol. 312.
6. Корнев А.В., Шабуров С.С. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 58–63.
7. Щеголева Н.В., Гусев В.А., Ворожейкин М.А. Образование заторов в транспортном потоке // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 5 (19). – С. 25–28.
8. Xomidov A., Tursunboyev M. Eliminating congestion on internal roads [Электронный ресурс] // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2022. – № 2 (95). – URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item#13079> (дата обращения: 20.11.2022).
9. Black W.R. Transportation: A geographical analysis. – New York: The Guilford Press, 2003. – 408 p.
10. Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н. Сравнение адаптивного и жесткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде ANYLOGIC // Программные продукты и системы. – 2018. – № 2. – С. 403–408.
11. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system // Transport. – 2020. – Vol. 35, no 3. – P. 327–335. DOI: 10.3846/transport.2019.11115.

12. Басков В.Н., Красникова Д.А., Исаева Е.И. Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 4 (83). – С. 272–281.
13. Андронов Р.В., Елькин Б.П., Гензе Д.А. Понятие затора и формирование очередей на регулируемом пересечении в условиях плотного транспортного потока // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 39–41.
14. Власов А.А., Горелов А.М. Управление светофорными объектами в условиях транспортных заторов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 3 (38). – С. 112–117.
15. Harsha M.M., Raviraj H. Mulangi, Vrunda Kulkarni. Visualization and Assessment of the Effect of Roadworks on Traffic Congestion Using AVL Data of Public Transit // Journal of Geovisualization and Spatial Analysis. – 2022. – Vol. 6. – 28. – 14 p. DOI: 10.1007/s41651-022-00123-z.
16. Ласкин М.Б., Талавирия А.Ю. Оценка плотности транспортного потока на основе имитационного моделирования пункта взимания платы // Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021), 20–22 октября 2021 г., Санкт-Петербург. – СПб., 2021. – С. 272–278.
17. Басков В.Н., Игнатов А.В. Зависимость риска возникновения транспортного затора от параметров транспортного потока // Концепт. – 2015. – № Т35. – С. 1–5.
18. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network / V. Shepelev, S. Aliukov, K. Nikolskaya, A. Das, I. Slobodin // Transport and Telecommunication. – 2020. – Vol. 21 (1). – P. 15–31. DOI: 10.2478/tjt-2020-0002.
19. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3.
20. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Фурье-анализ интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4.
21. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 2.
22. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. Amplitude-frequency analysis of traffic flow intensity based on photo and video recording of traffic violations // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 4.
23. Hikvision iDS-2CD7A45G0-IZHS [Электронный ресурс]. – URL: [https://hikvision.ru/product/ids\\_2cd7a45g0\\_izhs](https://hikvision.ru/product/ids_2cd7a45g0_izhs) (дата обращения: 13.10.2022).
24. Hikvision MV-CA050-10GM [Электронный ресурс]. – URL: [https://hikvision.ru/product/mv\\_cs050\\_10gm](https://hikvision.ru/product/mv_cs050_10gm) (дата обращения: 13.10.2022).
25. TUSS VISON VT4Z1450MFZPT10GM [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mkoi.org/products/650/863773/864091/> (дата обращения: 13.10.2022).
26. iDS-TCM203-A/R#0832 (850 нм) [Электронный ресурс]. – URL: [https://hikvision.ru/product/ids\\_tcm203\\_a\\_r\\_0832\\_850\\_nm](https://hikvision.ru/product/ids_tcm203_a_r_0832_850_nm) (дата обращения: 13.10.2022).
27. NVIDIA Jetson Nano [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano> (дата обращения: 13.10.2022).

### References

1. Drew D. Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi [Traffic flow theory and control]. Moscow: Transport, 1972, 423 p.
2. Vladimirov S.N. Transportniye zatory v usloviyakh megapolisa [Traffic congestion in a metropolis. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2014, Vol. 3, no. 1 (19), pp. 77-84.
3. Lobanov E.M. Transportnaya planirovka gorodov [Transport planning of cities]. Moscow: Transport, 1990, 239 p.

4. Evtееva A.S., Andreev K.P., Shemyakin A.V., Terentev V.V. Obsledovanie gorodskoy transportnoy seti s primeneniem izmeritelnogo kompleksa [Inspection of the urban transport network using a measuring complex]. *Transportnoe delo Rossii*, 2018, no. 1, pp. 132-134.
5. Kumar P., Vinodh Kumar S., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road. *IOT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Singapore, Springer, 2023. Vol. 312, doi: 10.1007/978-981-19-3575-6\_51.
6. Kornev A.V. Shaburov S.S. Transportnye zatory Varianty resheniya problemy [Traffic congestion. Solutions to the problem]. *Molodezhnyy vestnik IrGTU*, 2021, Vol. 11, no. 1, pp. 58-63.
7. Shchegoleva N.V., Gusev V.A., Vorozheykin M.A. Obrazovanie zatorov v transportnom potoke [The formation of congestion in the traffic flow]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve*, 2016, no. 5 (19), pp. 25-28.
8. Xomidov A., Tursunboyev M. Eliminating congestion on internal roads. *Universum*, 2022, no. 2 (95), available at: <https://universum.com/ru/tech/archive/item#13079> (accessed 20 November 2022).
9. Black W.R. *Transportation: A geographical analysis*. New York: The Guilford Press, 2003, 408 p.
10. Shamlitskiy Ya.I., Okhota A.S., Mironenko S.N. Sravnenie adaptivnogo i zhestkogo algoritmov upravleniya dorozhnym dvizheniem na baze imitatsionnoy modeli v srede ANYLOGIC [Comparison of adaptive and rigid traffic control algorithms based on a simulation model in the ANYLOGIC environment]. *Programmnyye produkty i sistemy*, 2018, no. 2, pp. 403-408.
11. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system. *Transport*, 2020, Vol. 35, no. 3, pp. 327-335. DOI: 10.3846/transport.2019.11115.
12. Baskov V.N., Krasnikova D.A., Isaeva E.I. Vliyanie povedencheskogo faktora voditelya na obrazovanie transportnogo zatora [The influence of the behavioral factor of the driver on the formation of a traffic jam]. *Mir transporta*, 2019, vol. 17, no. 4 (83), pp. 272-281.
13. Andronov R.V., Elkin B.P., Genze D.A. Ponyatie zatora i formirovanie ocherey na reguliruemom peresechenii v usloviyakh plotnogo transportnogo potoka. [The concept of congestion and the formation of queues at a controlled intersection in a dense traffic flow]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya*, 2015, no. 1, pp. 39-41.
14. Vlasov A.A., Gorelov A.M. Upravlenie svetofornymi obektami v usloviyakh transportnykh zatorov [Management of traffic lights in traffic congestion]. *Vestnik Moskovskogo avtomobilnodorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2014, no. 3 (38), pp. 112-117.
15. Harsha M.M., Raviraj H. Mulangi, Vrunda Kulkarni. Visualization and Assessment of the Effect of Roadworks on Traffic Congestion Using AVL Data of Public Transit. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2022, vol. 6, no. 28. DOI: 10.1007/s41651-022-00123-z.
16. Laskin M.B., Talavirya A.Yu. Otsenka plotnosti transportnogo potoka na osnove imitatsionnogo modelirovaniya punkta vzimaniya platy [Estimation of traffic flow density based on simulation modeling of a toll plaza]. *Materialy 10 Vserossiyskoy nauchnoprakticheskoy konferentsii po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v nauke i promyshlennosti «Imitatsionnoe modelirovanie Teoriya i praktika» (IMMOD 2021)*, Sankt-Peterburg, 2021, pp. 272-278.
17. Baskov V.N., Ignatov A.V. Zavisimost riska vozniknoveniya transportnogo zatora ot parametrov transportnogo potoka [Dependence of the risk of traffic congestion on traffic flow parameters]. *Nauchnometodicheskiiy elektronnyy zhurnal Kontsept*, 2015, vol. 35, pp. 1-5.
18. Shepelev V., Aliukov S., Nikolskaya K., Das A., Slobodin I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network. *Transport and Telecommunication*, 2020, no. 21 (1), pp. 15-31. DOI: 10.2478/tjt-2020-0002.
19. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Ispolzovanie kompleksa fotovideofiksatsii narusheniy pravil dorozhnogo dvizheniya dlya vydeleniya determinirovannoy i stokhasticheskoy sostavlyayushchikh intensivnosti transportnogo potoka [Using a complex of photo-video fixation of traffic violations to highlight the deterministic and stochastic components of the intensity of the traffic flow]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2021, no. 3.
20. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Furiye-analiz intensivnosti transportnogo potoka [Fourier analysis of traffic intensity]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2021, no. 4.
21. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Vaskina E.V. Primenenie pokazatelya Khyersta dlya issledovaniya intensivnosti transportnogo potoka [Application of the Hurst exponent to study the intensity of the traffic flow]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2022, no. 2.
22. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. Amplitude-frequency analysis of traffic flow intensity based on photo and video recording of traffic violations. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 4, pp. 12-20. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.02
23. Hikvision iDS-2CD7A45G0-IZHS, available at: [https://hikvision.ru/product/ids\\_2cd7a45g0\\_izhs](https://hikvision.ru/product/ids_2cd7a45g0_izhs) (accessed 13 October 2022).
24. Hikvision MV-CA050-10GM, available at: [https://hikvision.ru/product/mv\\_cs050\\_10gm](https://hikvision.ru/product/mv_cs050_10gm) (accessed 13 October 2022).
25. TUSS VISON VT4Z1450MFZPT10GM, available at: <http://www.mkoi.org/products/650/863773/864091/> (accessed 13 October 2022).
26. iDS-TCM203-A/R#0832 (850 nm), available at: [https://hikvision.ru/product/ids\\_tcm203\\_a\\_r\\_0832\\_850\\_nm](https://hikvision.ru/product/ids_tcm203_a_r_0832_850_nm) (accessed 13 October 2022).
27. NVIDIA Jetson Nano, available at: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano> (accessed 13 October 2022).

**Об авторе**

**Вавилин Александр Сергеевич** (Пермь, Российская Федерация) – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: rickvavilin@gmail.com).

**About the author**

**Aleksandr S. Vavilin** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Automobiles and Technological Machines Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky prospect, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: rickvavilin@gmail.com).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад автора** 100 %.

Поступила: 27.05.2023

Одобрена: 17.06.2023

Принята к публикации: 26.06.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Вавилин, А.С. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга транспортных потоков / А.С. Вавилин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 3. – С. 65–74. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.07

Please cite this article in English as: Vavilin A.S. Hardware and software complex for traffic flow monitoring. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 3, pp. 65-74. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.07