

**УДК 656.021.2**

А.А. БУРЛУЦКИЙ, к.т.н, доцент (ТомГАСУ)  
У.К. КРАСЬКО, студент гр. 217с ДСФ (ТомГАСУ)  
г. Томск

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Жизнедеятельность современного крупного города обеспечивается его инфраструктурой, в которой центральные позиции занимают улично-дорожная сеть и функционирующие на ней различные виды транспорта.

На сегодняшний день степень развития городской транспортной инфраструктуры не позволяет в полной мере обеспечить потребность населения в перемещениях. С одной стороны, это вызвано снижением темпов строительства, реконструкции и капитального ремонта транспортных коммуникаций. В то же время отметим, что в последние несколько десятилетий наблюдался значительный рост уровня автомобилизации, а также увеличение экономической активности населения, сопровождающееся повышением транспортной подвижности граждан [1].

Перенасыщение УДС транспортными потоками приводит к снижению скорости движения автомобилей, возникновению периодических транспортных заторов и увеличению количества дорожно-транспортных происшествий. В результате реализации данных факторов резко падает эффективность функционирования транспортной системы города, что негативно отражается на всех сферах жизнедеятельности населения.

Очевидно, что в настоящее время темпы развития транспортной инфраструктуры отстают от темпов развития города в целом. Так, проявление активности в освоении свободной городской территории и, прежде всего, перспективных периферийных зон под массовое жилищное строительство и крупные торгово-развлекательные комплексы приводит не только к значительным перегрузкам отдельных транспортных магистралей, но и всей инженерной инфраструктуры крупного города. В свою очередь, строительство новых магистральных улиц и дорог потребует высвобождения городских территорий, а значит, обязательно будет сопровождаться сносом сложившейся застройки.

Более гуманным решением обозначенной проблемы является рациональное использование подземного и надземного пространства — однако это также потребует больших капиталовложений. Кроме прочего, следует уделить внимание мероприятиям, внедрение которых при небольших финансовых вливаниях позволит в кратчайшие сроки дать положительный эффект на локальных участках улично-дорожной сети города. В то же время такой вариант нельзя считать полноценной альтернативой строительству новых улиц и совершенных транспортных развязок, т.к. данные меры имеют

ограниченный резерв повышения пропускной способности. В этом случае наиболее целесообразно применение комплексного подхода с комбинированием предпочтительных мероприятий различных уровней сложности и их стадийной реализацией [2].

Таким образом, возникает необходимость обоснованного назначения мер, направленных на модернизацию транспортной инфраструктуры для обеспечения удобства и мобильности граждан при перемещениях по территории города. Для реализации поставленной задачи постоянно разрабатываются такие документы транспортного планирования, как программа комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД) и комплексная схема организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ). Следует отметить, что каждый из документов предполагает в той или иной мере применение специальных программных продуктов для разработки транспортных моделей, позволяющих рассмотреть различные сценарии развития инфраструктуры города и выбрать из них наиболее оптимальный [3].

Для моделирования транспортных систем необходимо большое количество исходных данных, полнота и достоверность которых определяют качество разрабатываемой модели. Так, при построении микроскопических имитационных моделей результат анализа во многом будет зависеть от принимаемых параметров транспортных потоков, основными из которых являются интенсивность движения и состав. На основе этой информации устанавливают технические параметры объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, таких как улично-дорожные сети, отдельные улицы и автомобильные дороги, а также искусственные сооружения и транспортные пересечения. Кроме того, данные, полученные в ходе учета интенсивности движения транспортных потоков, необходимы на всех этапах жизненного цикла сооружения. Следует отметить, что исследование интенсивности движения — обязательный этап, проводимый при планировании развития дорожной сети, проектировании транспортных сооружений, назначении периодичности выполнения работ, производимых в рамках ремонта и содержания, а также обосновании мероприятий по совершенствованию схем организации дорожного движения.

Интенсивность движения оценивается количеством транспортных средств, проезжающих через сечение автомобильной дороги или улицы за определенный промежуток времени [4]. Как правило, в качестве такого периода принимают сутки или часы, однако для решения отдельных специфических задач он может принимать иные значения. Следует отметить, что, в зависимости от поставленной цели исследования, учет интенсивности движения может выполняться либо в сечении автомобильной дороги или улицы, либо в пределах какого-либо отдельного маршрута движения. Последний вариант характерен для исследования пересечений улиц и дорог, когда зачастую необходимо оперировать данными о распределении количества транспортных средств по отдельным направлениям.

В настоящее время известно много методов сбора данных об интенсивности и составе движения транспортного потока, отличающихся полнотой и точностью получаемой информации. При этом их можно подразделить на автоматизированные и визуальные [4].

Автоматизированный метод основан на применении технических средств, позволяющих в автоматическом режиме выполнять учет различных типов транспортных средств на автомобильных дорогах и городских улицах. Как правило, для сбора информации организуют стационарные посты, в состав которых может входить различное оборудование [5]: детекторы транспортных средств, регистрирующие устройства, техника для передачи и хранения данных, специализированное программное обеспечение для обработки полученной информации. В качестве детекторов могут применяться счётчики различного принципа действия (пневматические, механические, фотоэлектрические и магнитно-индукционные), а также аппаратура радиолокационного типа. Следует отметить, что последние, помимо интенсивности движения, позволяют анализировать плотность и скоростной режим транспортного потока.

Поскольку автоматизированный метод учета предполагает непрерывный мониторинг транспортных потоков в течение длительного периода времени, его применение целесообразно при формировании интеллектуальных транспортных систем городов и регионов, а также организации крупномасштабных транспортных исследований, предполагающих необходимость анализа неравномерности изменения интенсивности движения в различные периоды времени. В этом случае автоматизация подразумевается не только на стадии сбора информации, но и при дешифровке полученных данных с предоставлением пользователю агрегированных значений интенсивности движения потока автомобилей [5].

В настоящее время информацию о параметрах движения транспортных потоков можно получить из автоматизированных пунктов весового контроля, оборудованных средствами видеофиксации. Однако сеть таких пунктов недостаточно развита на территории нашей страны; прежде всего она дислоцирована в европейской части. Следует отметить, что пункты весового контроля организуют, как правило, на участках автомобильных дорог вне населенных пунктов либо на подходах к городам. К недостаткам вышеназванных технологий автоматизированного учёта можно отнести их высокую стоимость, низкую точность идентификации транспортных средств по отдельным группам, и, наконец, отсутствие мобильности при организации работы систем.

Действующий нормативный документ [4], регламентирующий методы изучения интенсивности движения, не исключает возможность применения визуальных методов учета. Такой подход рационально применять в случае, когда остальные не могут дать приемлемого результата или когда стоимость приобретения и установки оборудования значительно превышает расходы по сбору данных вручную.

При визуальном методе учета фиксирование количества транспортных средств может осуществляться посредством следующих способов [6]:

- вручную;
- механическими или электрическими счётчиками (как со встроенными устройствами хранения данных, так и без них);
- с помощью видеофиксации.

Метод визуальной оценки с фиксацией количества пройденных транспортных средств вручную предполагает занесение результатов наблюдения в специальные табличные формы непосредственно в процессе учёта. Такой способ целесообразен при необходимости кратковременного учёта интенсивности движения, а также при возможности привлечения достаточного числа подготовленных учётчиков.

Несмотря на такие проблемы, как трудоемкость, а также зависимость результатов измерений от опыта и ответственности наблюдателя, визуальный метод с ручным фиксированием результатов остается одним из немногочисленных способов получения точной и, как правило, достоверной информации о параметрах транспортных потоков. До сих пор этот способ широко используется в транспортных обследованиях. Кроме этого, к визуальному методу учёта зачастую вынужденно прибегают в ряде случаев: к примеру, при необходимости определения интенсивности в пределах транспортных пересечений по отдельным направлениям, а также для более чёткого и детального разделения автомобилей по типам. Следует отметить, что опытный наблюдатель в обычных ситуациях может учитывать до 1500 транспортных средств в час без значимых ошибок (в том числе и по отдельным направлениям движения).

Применение счётчиком механических или электрических счётчиков, предусматривающих хранение данных и относящихся к полуавтоматическим приборам учёта, заключается в фиксировании автомобилей посредством нажатия на устройстве определённых клавиш, соответствующих типу транспортного средства и направлению его движения [6]. В этом случае последующая обработка полученных в ходе учёта данных и суммирование транспортных средств производится автоматически. Эта технология позволяет значительно упростить подсчет и идентификацию типов проезжающих транспортных средств, а также обеспечивает возможность контроля результатов наблюдения посредством чёткого фиксирования времени работы с оборудованием.

Отметим, что отдельные технические средства, применяемые в технологиях автоматизированного и визуального учёта, могут располагаться не только в стационарных условиях, но и на подвижных средствах (например, специально оборудованных ходовых дорожных лабораториях). Это позволяет расширить круг решаемых транспортных задач, а именно — получить пространственно-временные характеристики режимов движения транспортных потоков в условиях города.

Технические средства видеофиксации транспортных потоков применяются для реализации ряда целей, как то: повышение точности и достоверности получаемой информации, снижение финансовых затрат (как правило, при обследовании транспортных пересечений), обеспечение безопасности учетчиков, исключение влияния погодных условий и утомляемости наблюдателей в процессе обследования [6].

Видеофиксация потока автомобилей с поверхности земли на улицах с многополосной проезжей частью является малоэффективной, что обусловлено недостаточной информативностью видеоматериалов из-за наложения транспортных средств. В связи с этим рекомендуется проводить съемку с высоты, обеспечивающей видимость проезжающих автомобилей; это необходимо для их достоверной идентификации и подсчета. Как правило, для установки камер используют здания, опоры освещения и другие возвышающиеся объекты, расположенные в непосредственной близости. При необходимости организации краткосрочных наблюдений довольно эффективным вариантом является применение мобильных мачт высотой 6-9 м, позволяющих устанавливать видеокамеры в короткие сроки. К недостаткам такого способа можно отнести необходимость проработки вопросов питания и сохранности оборудования, а также безопасности монтажа в местах скопления людей.

При невозможности установки видеокамеры в зоне перекрестка (по крайней мере, на высоте, обеспечивающей его полный обзор) либо значительных размерах и сложной форме транспортного узла приемлемого результата можно достичь за счёт применения беспилотных летательных аппаратов, позволяющих вести съёмку с большей высоты и тем самым увеличить обзор камеры [6].

В настоящее время на рынке беспилотных летательных аппаратов наиболее распространены и доступны квадрокоптеры. Стоимость таких аппаратов полупрофессионального типа не превышает 250 тыс. руб., что делает их доступными для небольших организаций, занимающихся транспортными исследованиями. Подобные аппараты обладают внушительным функционалом и, что наиболее важно, способны вести качественную видеосъемку при зависании над объектом. Общее время полета у различных моделей варьируется от 25 до 40 минут. При этом «чистое» время съёмки не превышает 15 - 25 минут, что приводит к определенным неудобствам, связанным с необходимостью замены элементов питания.

Начиная с 2020 года сотрудники кафедры Автомобильные дороги ТомГАСУ при решении отдельных задач профессиональной деятельности применяют компактный квадрокоптер Autel Evo II Pro компании Autel Robotics. За обозначенный период времени технология мониторинга транспортных потоков с применением дрона опробована на площади Транспортной в г. Томске, на примыкании ул. Власихинской к Ленточному бору в г. Барнаул, а также на нескольких транспортных развязках северной части г. Екатеринбурга.

Рассмотрим подробнее данный метод на примере площади Транспортной, которая является главным узлом южной части г. Томска. Для выбора

оптимального планировочного решения транспортного пересечения, выполняемого в рамках предпроектной стадии, была поставлена задача проведения детального учёта интенсивности движения по отдельным направлениям. При этом следует отметить, что рассматриваемый узел представляет собой кольцевое пересечение неправильной формы, в пределах которого располагаются ограничивающие видимость объекты – опоры высоковольтных линий электропередач, рекламные щиты и зеленые насаждения. Отмеченные условия свидетельствуют о невозможности применения классического визуального метода учета, предполагающего нахождение наблюдателей непосредственно на подходах к пересечению. В связи с этим при подготовке проведения обследования было принято решение о необходимости применения технологии, предусматривающей видеофиксацию с беспилотного летательного аппарата. Дополнительно к этому была выполнена видеосъемка пересечения с другого ракурса — а именно с крыши десятиэтажного жилого дома, расположенного в непосредственной близости к кольцу.



а)

б)

Рисунок 1. Видеофиксация транспортного потока на площади Транспортной;

а) с квадрокоптера; б) с крыши здания

Следует отметить, что применение технологии учета интенсивности движения с помощью средств видеофиксации сопровождается последующим трудоемким и кропотливым процессом камеральной обработки результатов. Значительное ускорение процедуры обработки полученных видеоматериалов достигается применением специализированного программного обеспечения для дешифровки транспортных средств. Это позволяет полностью либо частично автоматизировать процесс учёта.

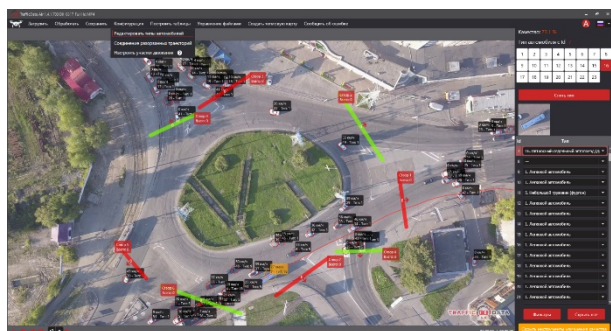
Среди предлагаемых на Российском рынке программных продуктов для дешифровки данных, собираемых с помощью средств видеофиксации, наибольший интерес вызывает активно развивающийся ресурс TrafficData. В нем реализована возможность определения параметров дорожного движения как по видеоматериалам, снятым с небольшой высоты (TrafficData Land), так и полученным с беспилотных летательных аппаратов (TrafficData Air).



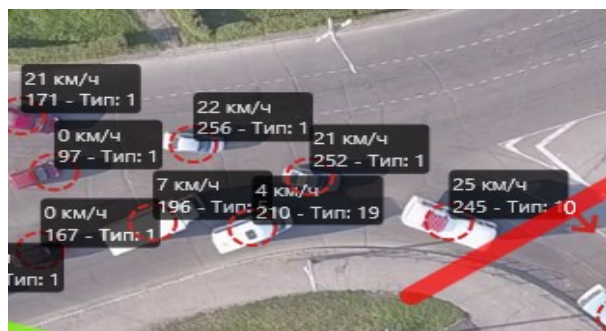
На основании результатов обработки видеосъемки TrafficData Air позволяет определить количество пройденных автомобилей и состав потока по отдельным категориям, установленным действующими нормативными документами. В программе реализован алгоритм отслеживания траектории движения отдельных автомобилей, что позволяет вести их подсчет по конкретным направлениям.

Последовательность работы с программным продуктом для анализа параметров транспортных потоков предусматривает следующие шаги:

- загрузка видеофайлов и их последующая подготовка (обрезка, объединение файлов и т.д.);
- обработка видео;
- просмотр результатов обработки, их корректировка (соединение разорванных траекторий и уточнение типов транспортных средств; см. рис. 2);
- расстановка створов (входные, сквозные и выходные);
- вывод отчета в табличном и графическом видах.



а)



б)

Рисунок 2. Окна программы TrafficData Air с результатами обработки

а) восстановление траекторий и корректировка состава;

б) визуализация параметров транспортных потоков.

Функционал программного обеспечения позволяет оператору контролировать и при необходимости повышать качество обработки видеоматериала путем снижения количества разорванных траекторий. Уточним, что достаточно хорошим является результат, при котором количество распознанных связей превышает 90-95%. При наличии большого количества разорванных траекторий и, соответственно, низком качестве обработки видеоряда пользователю необходимо в ручном режиме провести совмещение отдельных маршрутов, что приводит к значительным затратам времени. Причиной указанного недостатка при обработке является наличие помех, затрудняющих слежение за движущимися объектами и их идентификацию.

При выполнении программной обработки видеосъемки на пл. Транспортная выявлено, что наибольшее количество помех связано с наличием на кольцевой проезжей части теней от опор линий электропередач, что значительно снижало качество обработки (до уровня ниже 70%). В рамках взаимодействия с компанией-разработчиком ПО TrafficData её специалистами были оперативно откорректированы алгоритмы работы программы. Это

позволило минимизировать влияние теней от высотных объектов, находящихся в зоне пересечения.

Затраты времени, необходимые для обработки видеозаписи, зависят от транспортно-планировочной схемы узла, его загруженности и опыта оператора. В рассматриваемом проекте суммарные операционные затраты времени при обработке видеофайла продолжительностью 15 минут ориентировочно составили 1 час.

Следует отметить, что программная обработка видеоматериалов, полученных при съемке под углом с крыши здания высотой около 40 м, не позволила достичь приемлемого результата. Визуальный учет количества пройденных автомобилей и маршрутов их движения также не дал положительного результата, так как полученный угол обзора и наличие большого количества помех делали практически невозможным слежение за траекторией движения автомобилей по отдельным направлениям.

Таким образом можно резюмировать, что в настоящее время существует немалое количество методов учета интенсивности движения. К сожалению, большинство автоматизированных технологий анализа транспортного движения требуют приобретения дорогостоящего оборудования и программного обеспечения, а также выполнения комплекса монтажных и пуско-наладочных работ. Данные условия приводят к неэффективности таких технологий при решении практических и научно-исследовательских задач. Несмотря на свою трудоемкость, метод визуального учета интенсивности движения остается одним из самых распространенных: он позволяет довольно оперативно получить исчерпывающую информацию о интенсивности движения по отдельным направлениям в пределах транспортного пересечения. В то же время необходимость привлечения большого количества учетчиков, имеющих разную степень подготовки и ответственности, делает метод в значительной мере зависимым от человеческого фактора и не позволяет обеспечить стопроцентную достоверность конечного результата.

Одним из наиболее эффективных методов учёта интенсивности движения и состава потоков в пределах транспортных узлов со сложной конфигурацией является применение средств видеофиксации, позволяющих вести съемку под углом, близким к  $90^\circ$  (например, с беспилотных летательных аппаратов). Следует отметить, что, помимо сведений об интенсивности и составе потока, метод позволяет выяснить и другие, не менее важные его параметры: скорость движения транспортных средств (мгновенная и маршрутная), ускорение и замедление автомобилей, граничные интервалы при преодолении конфликтных зон, дистанция между автомобилями и т.д. К тому же программный анализ видеоматериалов позволяет количественно оценить влияние различных элементов и помех на изменение параметров движения транспортного потока; это, в свою очередь, делает возможными качественную калибровку и валидацию имитационных микроскопических моделей. Можно утверждать, что применение этой технологии обследования совместно со специализированными программами для ускорения процесса обработки видеоматериалов позволит



повысить качество создаваемых транспортных моделей, без которых не обходится ни один серьезный проект дорожной инфраструктуры.

В дополнение к заключению следует отметить, что активному внедрению технологии мониторинга параметров транспортного потока на улицах и городских автомобильных дорогах с применением малых беспилотных летательных аппаратов препятствует действующий в рассматриваемой отрасли административный барьер, ограничивающий применение современных технологий.

#### Список литературы:

1. Бурлуцкий А.А. Развитие подхода к совершенствованию маршрутной схемы пассажирского транспорта крупного города / А.А. Бурлуцкий, П.А. Елугачев // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. № 4 (89). – С. 174-187.
2. Бурлуцкий А.А. К анализу методов повышения скоростей движения транспортных потоков на улицах крупного города / А.А. Бурлуцкий, Н.Н. Сидоренко, Г.В. Пушкарёва // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2015. – № 5 (52). – С. 219-224.
3. Бурлуцкий А.А. Градостроительные аспекты формирования транспортной схемы в историческом центре г. Томска / В.И. Корнев, У.Ю. Гусева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2018. – Т. 20. № 1. – С. 128-139.
4. ГОСТ 32965-2014 Методы учета интенсивности движения транспортного потока. – М.: Стандартинформ, 2016. – 26 с.
5. ОДМ 218.2.032-2013 Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2013. – 33 с.
6. Бурлуцкий А.А. Обзор технологий сбора данных о параметрах движения городских транспортных потоков / А.А. Бурлуцкий, А.А. Ромашова // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Доклады конференции студентов и молодых ученых. – Томск, 2021. – С. 220-223.