

Разработка и оценка телематической автоматизированной системы весового контроля тяжелых транспортных средств

Д.Д. БЕЛИКОВА ✉, Р.Н. САФИУЛЛИН

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

✉ s195091@stud.spmi.ru

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Belikova, D.D.; Safiullin, R.N. The Design and Evaluation of a Telematic Automated System of Weight Control for Heavy Vehicles. *Infrastructures* 2022, 7, 86. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7070086>

Аннотация: В данной статье авторы рассмотрели существующую систему весового контроля грузовых транспортных средств в Российской Федерации. В ходе исследования были определены основные недостатки системы, препятствующие ее эффективному функционированию в части использования дорожной инфраструктуры. Для решения этих проблем была разработана модель функциональных возможностей телематической автоматизированной системы весового контроля грузовых транспортных средств, а также определены задачи оптимизации перевозочного процесса. Проведено математическое моделирование эксплуатационных факторов, влияющих на работу системы весового контроля грузовых транспортных средств на автомобильных дорогах. В результате исследования были определены наиболее значимые параметры, оказывающие наибольшее влияние на эффективность работы дороги. С помощью этих параметров можно выбрать подходящую аппаратуру и оборудование для системы весового контроля. Сформулирована методика разработки автоматических пунктов весового контроля тяжелых грузов при автомобильных перевозках. В результате исследования был сделан вывод о том, что внедрение телематической автоматизированной системы весового контроля грузовых транспортных средств позволит повысить эффективность автомобильных перевозок на автомагистрали за счет положительного влияния на ее основные транспортно-эксплуатационные показатели.

Ключевые слова: телематические системы; взвешивание в движении; перегруженный автомобиль; тяжелый автомобиль; пропускная способность дороги.

The Design and Evaluation of a Telematic Automated System of Weight Control for Heavy Vehicles

Daria D. BELIKOVA ✉ and Ravil N. SAFIULLIN

St. Petersburg Mining University, St. Petersburg 199106, Russia

✉ s195091@stud.spmi.ru

Abstract: In this article, the authors reviewed the existing system of weight control of heavy vehicles in the Russian Federation. In this research, the main shortcomings of the system, which prevent its effective functioning in relation to the use of road infrastructure, were determined. To solve these problems, we developed a model of the functionality of a telematic automated system of weight control of heavy vehicles, as well as defining the optimization tasks of the transportation process. Mathematical modeling of the operational factors that influence the system of weight control of heavy vehicles on roads was carried out. As a result of the research, the most significant parameters that have the greatest impact on the efficiency of the road were determined. By means of these parameters, it is feasible to choose suitable hardware and equipment for a weight control system. The methodology of developing automatic points for the weight control of heavy loads during road transportation was formulated. As a result of the study, it was concluded that the introduction of a telematic automated system of weight control of heavy vehicles would increase the efficiency of road transport on the highway by positively affecting its basic transport and performance indicators.

Keywords: telematic systems; weighing in motion; overloaded vehicle; heavy vehicle; road capacity.

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2024.

1. Введение

Разработка интеллектуальной транспортной системы (ИТС) предполагает использование информационно-коммуникационных технологий и, как следствие, увеличение количества различных технических решений.

Основной целью цифровой трансформации транспортной отрасли является повышение ее эффективности в целом. Поскольку в данном исследовании речь идет об автомобильном транспорте, можно отметить, что цифровая трансформация касается, в частности, эффективности автомобильных перевозок, безопасности дорожного движения и комфорта участников дорожного движения.

В связи с ростом спроса на автомобильные грузоперевозки грузоотправители, стремясь оптимизировать стоимость перевозки, загружают грузы сверх официально установленной нормы. Последствия регулярного превышения веса груза проявляются как в снижении безопасности движения, так и в негативном воздействии на дорожное покрытие. В ходе настоящего исследования было установлено, что до 30 % автомобильных перевозок осуществляется с нарушением весовых и габаритных ограничений, при этом средний перевес составляет около 50 %.

Статистика грузоперевозок в Российской Федерации представлена в табл. 1, из которой видно, что в пандемический 2020 год объем грузоперевозок снизился, но по итогам девяти месяцев 2021 года наблюдается тенденция к росту.

Тенденция к внедрению ИТС представлена во многих официальных документах, как международных (1. Официальный сайт Европейского союза: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021SC0475&qid=1645789857701> (дата обращения: 19.01.2022) 2. Официальный сайт Европейской экономической комиссии ООН: <https://unece.org/sites/default/files/2021-01/ECE-TRANS-2021-15r.pdf> (дата обращения: 19.01.2022)) и официальные акты Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 27.11.2021 г. Российской Федерации № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» (Официальный сайт Министерства транспорта РФ // <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (дата обращения: 19.01.2022)).

Таблица 1

Статистические данные по грузовым перевозкам автомобильным транспортом в Российской Федерации¹

	Название	2019	2020	Январь – сентябрь 2021	В % к январю – сентябрю 2020	Единица измерения
1	Грузоперевозки по России	5735	5405	3986	98,7	млн. тонн
2	Протяженность дорог	1706	1717	-	-	тыс. км
3	Дорожно-транспортные происшествия с участием грузового автотранспорта	10,8	9,6	6,6	61	тыс. дел

¹ Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (дата обращения: 21.02.2022)

Интеллектуальные транспортные системы призваны помочь в решении текущих и будущих транспортных проблем. Они получили широкое признание как один из результативных инструментов обеспечения эффективной, безопасной и устойчивой мобильности [1-4].

В связи с этим дальнейшее развитие унифицированных ИТС предполагает создание теоретических научно обоснованных принципов построения подсистем ИТС на каждом уровне их функциональности.

Предметом исследования является подсистема ИТС весового контроля грузовых транспортных средств, которая предназначена для повышения эффективности процесса перевозки тяжелых грузов, а также повышения безопасности движения на дорогах. Построение архитектуры подсистемы весового контроля требует научного анализа путей повышения эффективности перевозки тяжеловесных грузов автомобильным транспортом.

В настоящее время существуют исследования, посвященные таким элементам подсистемы весового контроля, как весовые станции. В основном весовые станции рассматриваются как

инструмент для сбора данных о параметрах транспортного потока, в том числе весовых параметров для расчетов при проектировании и эксплуатации мостов и дорог [5-9]. Кроме того, эти исследования позволяют найти новые способы измерения весовых параметров тяжелых транспортных средств [10, 11]. Задачами указанных исследований являются расчет несущей способности мостовых переходов и дорожного полотна на основе данных о весовых параметрах транспортного потока, полученных с помощью весовых станций, а также анализ актуальности проблемы перегруженных транспортных средств и повреждения дорожной инфраструктуры в различных регионах мира [10-13].

Во многих работах анализируются существующие проблемы, связанные с перегруженностью и повреждением дорожной инфраструктуры в различных регионах, что подчеркивает актуальность данного исследования [14-16].

Другим направлением исследований является непосредственное планирование грузовых перевозок и, в том числе, планирование распределения загрузки дорог тем или иным видом транспорта в определенные периоды времени [17-20].

Анализ существующей системы весового контроля в Российской Федерации выявил отсутствие ряда инструментов, необходимых для создания эффективной системы весового контроля:

- отсутствует методология построения комплексной системы весового контроля при перевозках большегрузными автомобилями [21, 22];
- отсутствует методика оценки измерительных средств телематической автоматизированной системы весового контроля грузового автотранспорта;
- не сформулирована методика оценки эффективности внедрения телематической автоматизированной системы весового контроля перевозочного процесса грузовых транспортных средств [23-25].

Целями и задачами настоящего исследования являются:

- разработка архитектуры телематической автоматизированной системы весового контроля грузовых транспортных средств на основе анализа функциональных возможностей и основных влияющих факторов на перевозочный процесс;
- разработка методики оценки средств измерения телематической автоматизированной системы управления весовым контролем грузовых транспортных средств [26-30].

Новизна данного исследования заключается в том, что в нем разработана архитектура построения телематической автоматизированной системы контроля весового контроля грузовых транспортных средств на региональном или государственном уровне, а также алгоритм рационального оснащения автоматизированных комплексов телематической системы контроля весового контроля.

2. Методы

На эффективность процесса перевозки тяжеловесных грузов влияет множество факторов, как внутренних, связанных с организацией транспортной работы автотранспортного предприятия [31-33], так и внешних, связанных с условиями движения, состоянием и категориями дорог на выбранном маршруте, получением разрешений на перевозку и состоянием транспортной инфраструктуры в целом [34, 35].

В рамках данного исследования была рассмотрена взаимосвязь «Автомобиль – дорога – весовой контроль». Была установлена следующая взаимосвязь: повышение качества дороги влияет на эффективность транспортного процесса в целом, а нормативное состояние дороги (транспортно-эксплуатационные показатели дороги) зависит от работоспособности системы весового контроля.

В результате анализа существующей системы весового контроля грузовых автомобилей на автомобильных дорогах были оценены состав системы, виды весового контроля, структура и функциональные возможности системы, выявлены достоинства и недостатки системы.

На основе анализа подсистемы весового контроля ИТС была сформирована модель интегрированной телематической автоматизированной системы управления весового контроля грузовых транспортных средств (далее ТАСУ ВК ГТС) на автомобильной дороге (рис. 1).

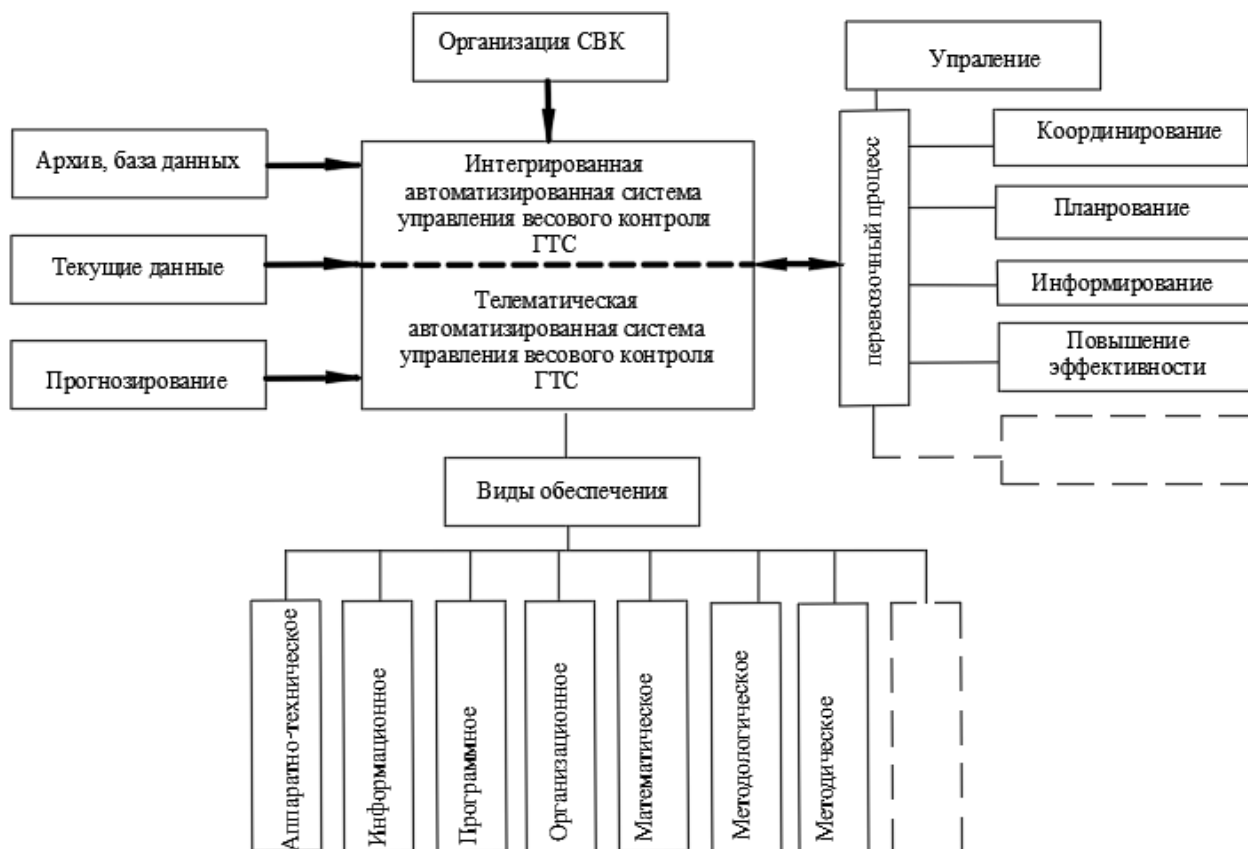


Рис. 1. Модель интегрированной телематической автоматизированной системы управления весового контроля ГТС на автомобильной дороге

При построении ТАСУ ВК ГТС необходимо предусмотреть: аппаратное, информационное, программное и организационно-математическое и методическое обеспечение [19].

При выборе аппаратных средств и составлении технического задания на автоматизированную систему управления весовым контролем необходимо учитывать функции, выполняемые системой. Модель функциональной схемы ТАСУ ВК ГТС приведена на рис. 2.

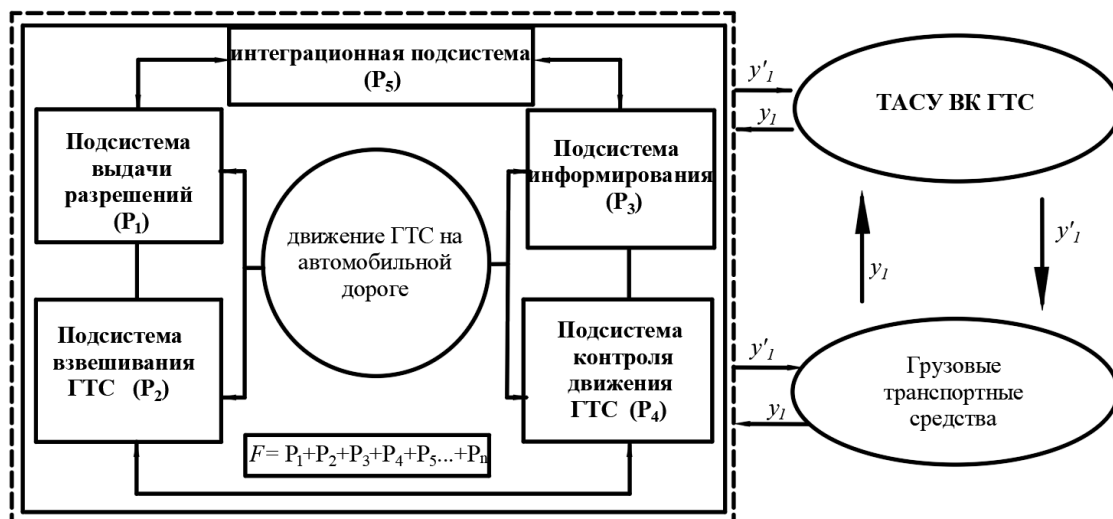


Рис. 2. Моделирование функциональных подсистем ТАСУ ВК ГТС

На рисунке представлена модель, в которой обеспечивается обмен данными между подсистемами автоматизированной системы весового контроля, что позволяет решать задачу оптимизации движения тяжелых транспортных средств по дороге.

Некоторые из этих функций предполагают остановку или замедление движения грузовиков, что влияет на время в пути. Взвешивание грузовика на стационарной или передвижной весовой станции может занимать 15-30 мин. При обнаружении перевеса, необходимости перегрузки груза или доставки автомобиля на штрафстоянку доставка груза может быть продлена на срок от одного часа до суток. Проверка проездных документов может занять 5-10 мин. Учитывая длину маршрута следования грузового автомобиля и количество проверок, задержка грузового автомобиля в пути будет увеличиваться, что снижает эффективность перевозок [14]. Кроме того, время, затрачиваемое на выполнение функций системы управления движением, влияет на основные эксплуатационные показатели дороги, такие как средняя скорость движения транспортных средств (км/ч) и пропускная способность дороги (тыс. автомобилей/сутки).

Увеличение транспортно-эксплуатационных показателей дороги повышает эффективность автомобильных перевозок и может быть осуществлено за счет повышения эффективности выполнения функций системы управления. Таким образом, F – это эффективность ТАСУ ВК ГТС, которая складывается из функций подсистем. Исходя из этого, были сформулированы оптимизационные задачи

$$W = (y_1 y'_1 + y_2 y'_2 + y_n y'_n), \quad (1)$$

где W – задача системы управления движением; y_n – выполнение n -й функции управления.

$$F = \sum P_n(T_n), T_n \rightarrow \min, \quad (2)$$

где F – задача системы управления движением на дороге, P_n – функции системы; T_n – скорость выполнения n -й функции.

Эффективность работы той или иной подсистемы ТАСУ ВК ГТС складывается из функций подсистем. На рисунке 3 приведена функциональная схема подсистемы взвешивания

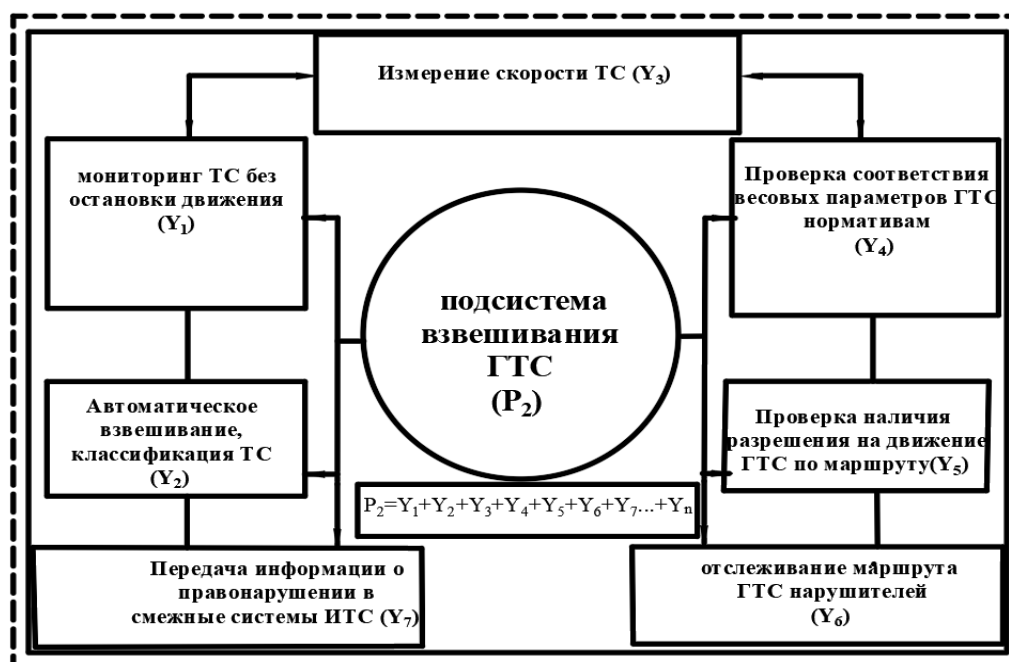


Рис. 3. Функциональная схема подсистемы взвешивания

Таким образом, обобщенная схема ТАСУ ВК ГТС может быть охарактеризована как совокупность подсистем и их основных функций, реализация которых делает систему оптимальной.

Так, система весового контроля позволяет совместить функции как контроля и управления движением большегрузного транспорта, так и диагностической оценки технических характеристик и состояния транспортных средств. В перспективе совмещение этих функций позволит перейти от автоматизированного к автоматическому режиму управления движением.

Для обоснования и уточнения структуры и порядка построения телематической автоматизированной системы управления весовым контролем, а также установления влияния на эксплуатационные показатели дороги была разработана модель ее построения (рис. 4)

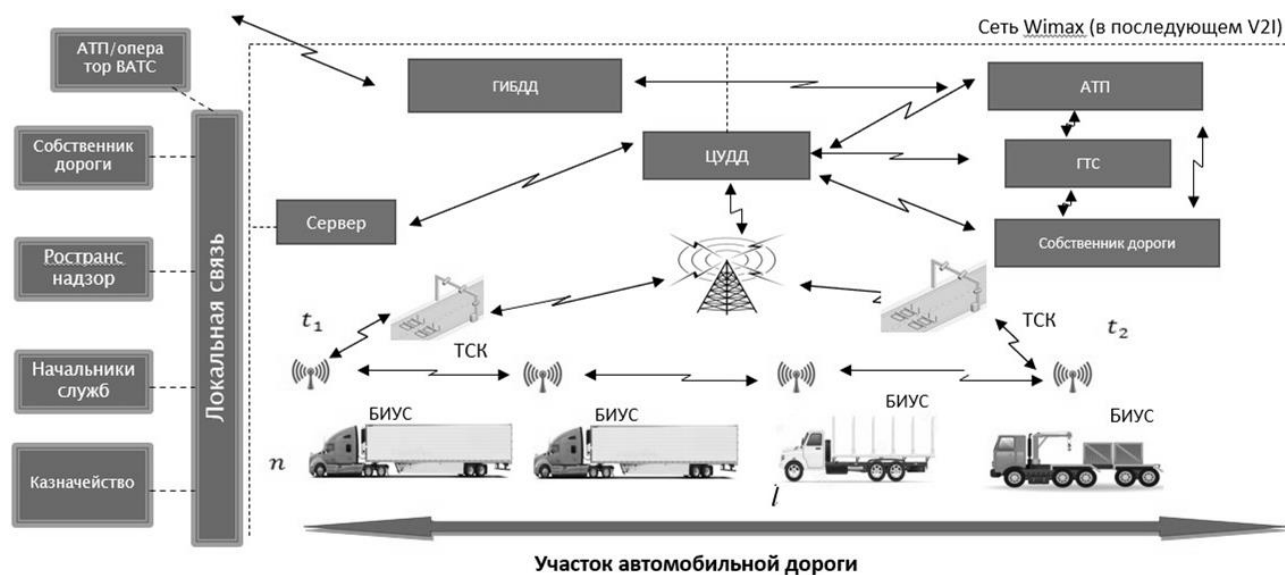


Рис. 4. Модель построения ТАСУ ВК ТТС

Для достижения этой цели на маршруте движения большегрузного автомобиля были размещены технические средства контроля движения (далее – ТСКД). ТСКД осуществляют идентификацию большегрузного автомобиля на контрольных пунктах и передают полученную информацию по каналам связи, через станцию дифференциальной коррекции высокочастотной навигации, в виде, удобном для ее анализа и принятия решений. Полученная информация накапливается и доводится через сервер до должностных лиц, участвующих в организации процесса перевозки тяжеловесных грузов.

В результате экспериментальных исследований были определены следующие факторы выбора средств измерения: характеристики распознавания, точность, простота установки, быстрдействие, стоимость, тип данных (рис. 5).

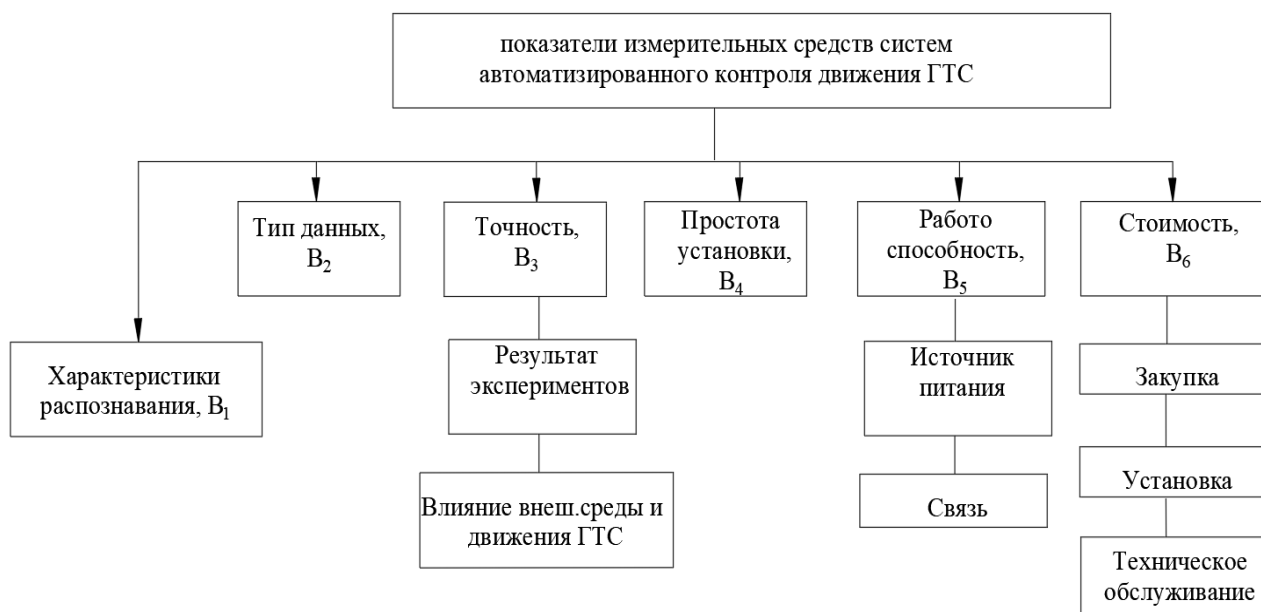


Рис. 4. Показатели средств измерения системы весового контроля автоматических ТСКД движения ГТС

Таким образом, поиск оптимального решения по выбору и оценке средств измерения системы весового контроля осуществляется по следующим критериям: эффективность распознавания и стоимость средств измерения.

Обобщенный критерий выбора средств измерения системы весового контроля является степенью эффективности идентификации тяжелого транспортного средства (P_i) и представляет собой совокупность вероятностей решения k -й задачи идентификации по степени соответствия полученной вероятностной оценки (P_k) и требуемой (P_k^*): если

$$\begin{aligned} P_i &= P_k^* - P_k, \text{ if } P_k^* \geq P_k, \\ P_i &= 0, \text{ if } P_k^* < P_k, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$P_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^P n_k}, \text{ if } \sum_{k=1}^P n_k \neq 0, \quad (4)$$

Таким образом, оценка эффективности задачи распознавания большегрузных автомобилей будет характеризоваться коэффициентом $P_i = 0 \dots 1$ и зависеть от степени соответствия вероятности выполнения каждой задачи распознавания заданию, указанному в техническом задании.

На рис. 6 представлен алгоритм рационального выбора средств измерения автоматических ТСКД движения большегрузных автомобилей, основанный на оптимуме Парето.

Данный подход реализован в конструкции автоматизированного ТСКД, что позволяет интегрировать в его состав дополнительные измерительные модули, комплексы, камеры или устройства, определяющие параметры, связанные с безопасностью дорожного движения (например, измерение скорости движения транспортного средства, установление факта административного правонарушения, измерение температуры окружающего воздуха или дорожного покрытия, определение координат по спутниковой системе ГЛОНАСС/GPS и синхронизация внутренней шкалы времени от сигналов координат и т.д.). Программное обеспечение выполняет функции сбора, обработки и последующей передачи информации со всех измерительных и технических устройств ТАСУ ВК ГТС. Все программное обеспечение делится на две части. Часть программного обеспечения, установленная в микропроцессорном блоке аналого-цифрового преобразователя, предназначена для обработки законодательно контролируемых параметров (нагрузки на оси, нагрузки на колеса, межосевые расстояния, габаритные размеры, скорость и полная масса транспортного средства). Он является встроенным. Вторая часть программного обеспечения, устанавливаемая на компьютер вместе с операционной системой, не отвечает за обработку контролируемых параметров. Основу автоматизированного ТСКД составляют такие элементы, как датчики, вмонтированные в дорожное покрытие и установленные на опоре над дорогой, а также средства фото-видеофиксации:

- тензометрические датчики – определение весовых параметров автомобиля без снижения скорости;
- лазерные 3D-датчики – определение габаритов транспортного средства;
- фото- и видеокамеры – получение изображения транспортного средства и распознавание номерных знаков;
- компьютерное оборудование (защищенный контроллер) – распознавание номерных знаков, управление периферийным оборудованием;
- оборудование связи – передача данных по 3G, волоконно-оптическому каналу или спутниковой связи, шифрование данных;
- индуктивные датчики – определение факта проезда транспортных средств и колесной формулы, а также определение скорости движения транспортных средств. Данные датчики не в полной мере способны измерять массу и габариты транспортных средств без снижения скорости, поэтому для повышения эффективности ТАСУ ВК ГТС предлагается реализовать алгоритм рационального выбора средств измерения на основе критериальных подходов.

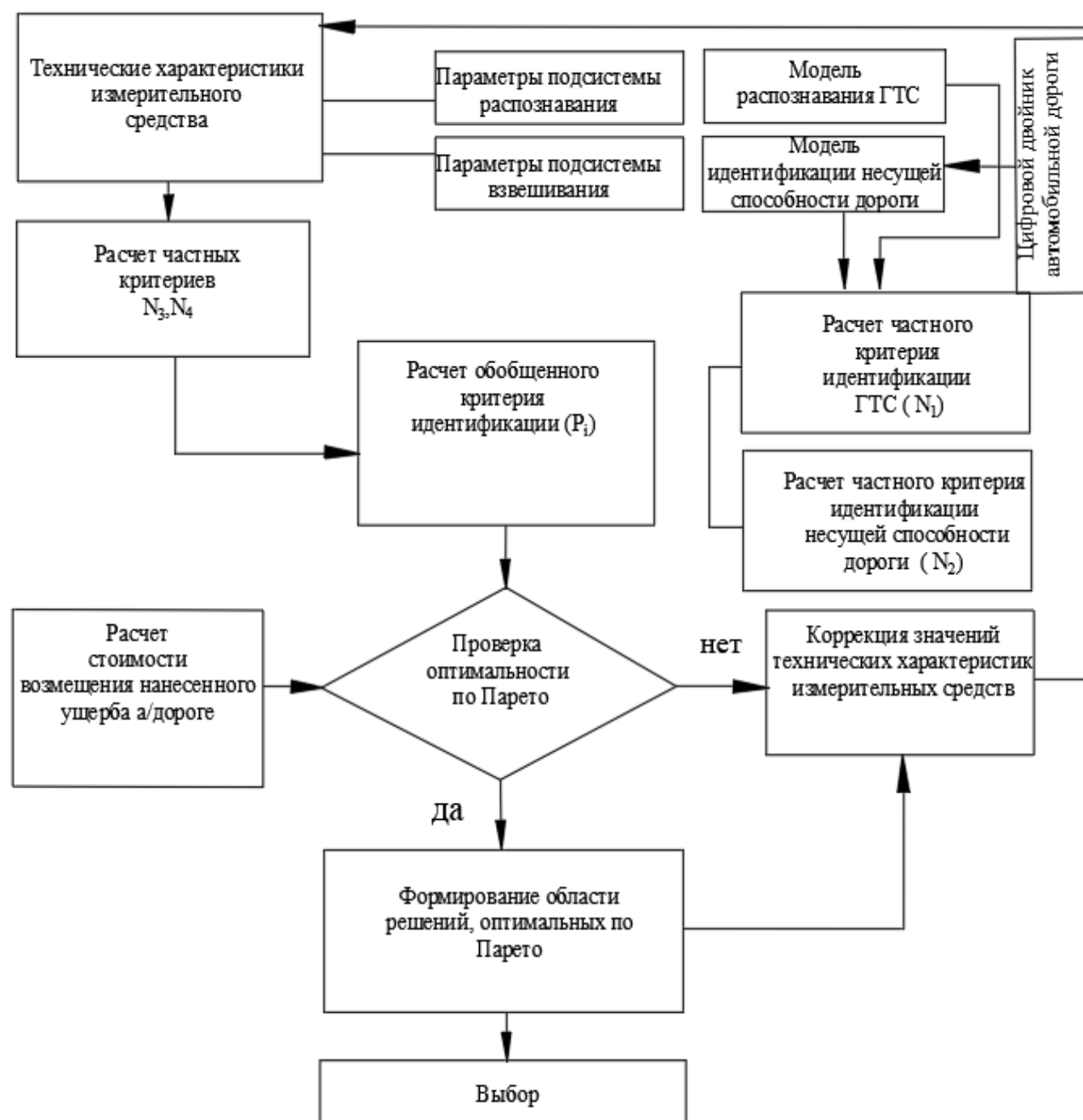


Рис. 6. Алгоритм рационального выбора средств измерения автоматических ТСКД движения ГТС на основании метода Парето

3. Обсуждение

Целью исследования было определение архитектуры системы, которую можно было бы назвать оптимальной. При анализе существующих компонентов системы весового контроля были выделены подсистемы и функции, учитывающие весь минимум необходимых функций для обеспечения безостановочного процесса перевозки тяжеловесных грузов по дороге. Безостановочный весовой контроль может существенно сократить время доставки грузов, тем самым повысив эффективность транспортного процесса.

В то же время весовой контроль позволит снизить тенденцию преждевременного ухудшения качества дорожного покрытия за счет снижения нагрузки при движении ГТС, превышающей нормативную массу, а также своевременного восстановления дорожного покрытия за счет средств,

собранных с перегруженных грузовых автомобилей в качестве компенсации ущерба. Состояние дороги также является одним из наиболее значимых эксплуатационных показателей дороги, влияющих на эффективность перевозочного процесса.

В данном исследовании основными элементами ТАСУ ВК ГТС являются автоматические пункты весового контроля, которые при организации интеграционной платформы управления весовым контролем позволяют оперативно взаимодействовать с грузовым автомобилем.

В имеющихся исследованиях, посвященных таким элементам системы весового контроля, как автоматические пункты весового контроля, внимание сосредоточено на анализе оборудования и процедур взвешивания грузовых автомобилей. В литературе мобильные весовые станции рассматриваются в основном как средства сбора данных о параметрах транспортного потока, в том числе весовых параметров для расчетов при проектировании и эксплуатации мостов и дорожных покрытий [6, 7, 9, 12]. Целями указанных исследований являются расчет несущей способности мостовых переходов и дорожных покрытий на основе данных о весовых параметрах транспортного потока, полученных с помощью мобильных весовых станций, а также анализ актуальности проблемы перегруженности транспортных средств и повреждения дорожной инфраструктуры в различных регионах. [8,17]. Методологические основы построения комплексной ТАСУ ВК ГТС в имеющихся публикациях не сформулированы.

В процессе формирования архитектуры ТАСУ ВК ГТС рассматривались функции подсистем, оборудования и программного обеспечения, необходимых для надлежащего выполнения выделенных функций. В состав оборудования, помимо средств взвешивания и передачи данных, входят ТСК, осуществляющие идентификацию грузовых автомобилей в движении. Поскольку это оборудование имеет не меньшее значение для построения ТАСУ ВК ГТС, чем весовое оборудование, которому посвящено не мало исследований, авторами была разработана методика рационального оснащения границ контроля ТСКД, представленная на рис. 4 и 5.

4. Результаты

В процессе формирования модели ТАСУ ВК ГТС, в частности ее составной программной части, для ЭВМ было разработано следующее программное обеспечение: «Методика обоснования технических средств, необходимых для автоматизированного весового контроля транспортных средств на автомобильных дорогах» (сертификат RU2021614874 от 31 марта 2021 года).

Идентификация грузовых транспортных средств осуществляется с помощью бортовых информационно-управляющих систем (далее – БИУС), установленных непосредственно на грузовом автомобиле. Бортовое оборудование представляет собой аппаратно-программный комплекс на основе информационно-измерительной системы, управляемой микрокомпьютером с базовым и технологическим программным обеспечением. В состав каждой БИУС входят средства обмена данными.

В этом случае выходными данными будут отчеты о местонахождении транспортного средства, его техническом состоянии, составе груза и т.д., а входными данными – указания оператора.

При формировании аппаратно-программного обеспечения ТАСУ ВК ГТС была уточнена структура бортовой информационно-управляющей системы, в состав которой входит разработанная автором автоматизированная система контроля экологических параметров ДВС грузового автомобиля (патент на изобретение № RU 2739652 от 28 декабря 2021 года).

Архитектура ТАСУ ВК ГТС на дороге, построенная на основе разработанных предложений и технических решений по ее формированию, позволяет повысить функциональность системы за счет скорости передачи информации между ее элементами (рис. 7).

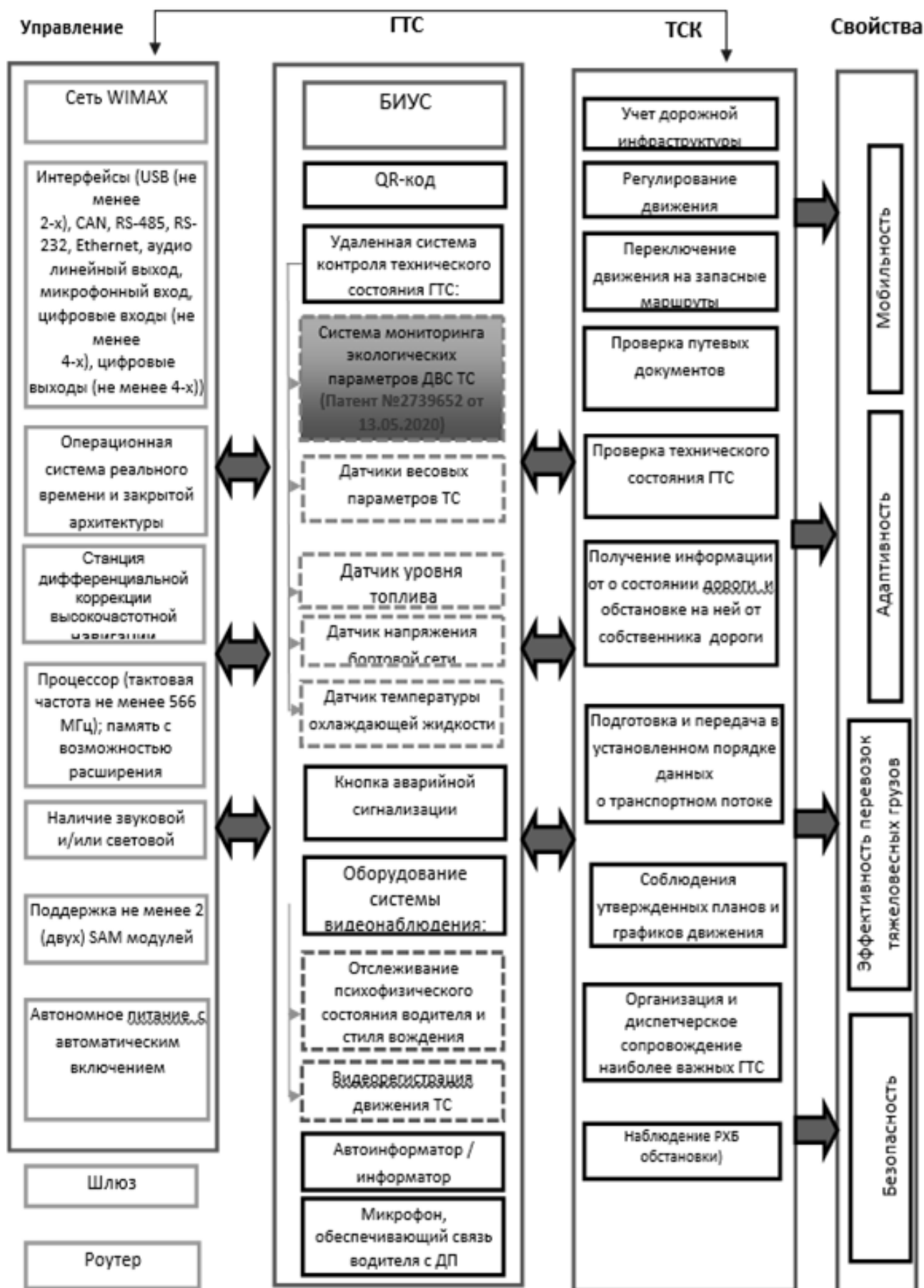


Рис. 7. Архитектура TACS ВК ГТС

Таким образом, представленная архитектура телематической автоматизированной системы управления весовым контролем может быть применена при формировании подсистемы ИТС весового контроля на уровне государственных структурных подразделений, отвечающих за содержание дорог, таких как Федеральное дорожное агентство «Росавтодор» и региональные операторы автомобильных дорог общего пользования, относящихся к субъектам Российской Федерации.

Итак, расчеты по установленным зависимостям показали значительное улучшение основных эксплуатационных показателей дороги с внедрением ТАСУ ВК ГТС (табл. 2).

Таблица 2

Расчетные эксплуатационные показатели дороги с внедрением ТАСУ ВК ГТС

	Транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги	Автомобильная дорога		
		Нормативные значения транспортно-эксплуатационных показателей а/дороги	Значения транспортно-эксплуатационных показателей а/дороги после применения ТАСУ ВК ГТС	Эффект от применения ТАСУ ВК ГТС, %
1	Средняя скорость движения транспортного потока по а/дороге, км/ч	40	50,8	25 % (+10,7 км/ч)
2	Пропускная способность, а/дороги, авт/сут.	4,5	5,1563	12,5 % (+0,563 тыс. авт/сут)

Установлен характер влияния ТАСУ ВК ГТС на эксплуатационные характеристики магистрали по величине коэффициента k_n , учитывающего это влияние, который показывает увеличение интенсивности движения на 15 % и средней скорости на 25 % (рис. 8).

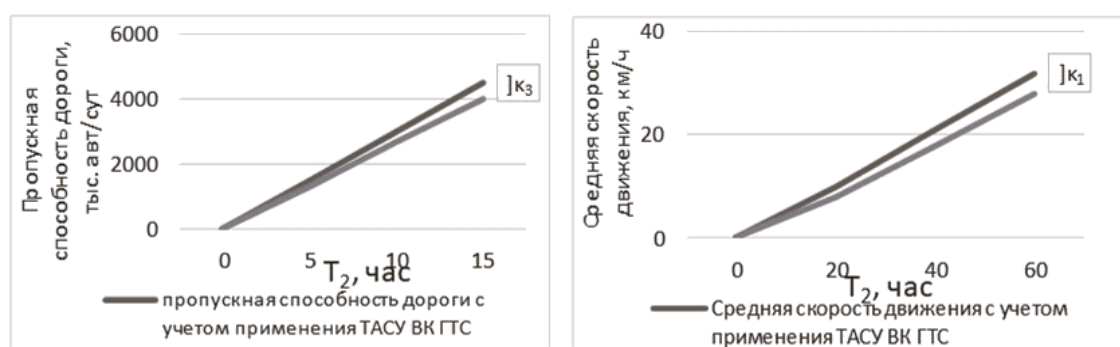


Рис. 8. Влияние ТАСУ ВК ГТС на эксплуатационные показатели автомобильной дороги

По итогам исследования была проведена оценка эффективности внедрения ТАСУ ВК ГТС. (рисунок 9).

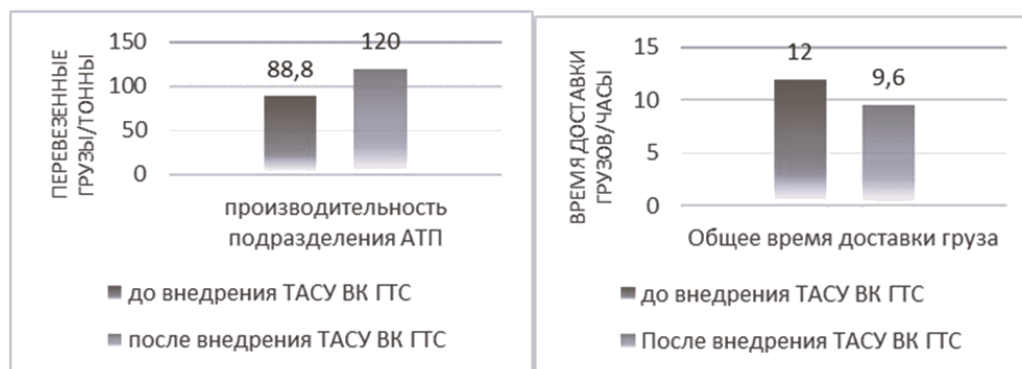


Рис. 9. Оценка эффективности внедрения ТАСУ ВК ГТС

Итоговые расчеты показали, что общее время доставки тяжелых грузов сокращается на 20 %, а производительность подразделений автотранспортного предприятия увеличивается на 26 %.

5. Выводы

1. В данном исследовании авторы пришли к выводу, что с учетом внедрения современных интеллектуальных передовых технологий при создании аппаратного, программного и информационного обеспечения, а также организационно-методического обеспечения, необходимого для интегрированной автоматизированной системы управления движением большегрузных автомобилей на дороге, возможность реализации весового контроля грузовых транспортных средств на дороге приведет к повышению эффективности управления дорожным движением.

2. Установлена определенная зависимость, при которой увеличение таких показателей работы дороги, как пропускная способность и средняя скорость движения, повышает эффективность автомобильного транспорта, за счет увеличения скорости выполнения функций системы управления. Следовательно, внедрение автоматизированных комплексов телематической системы управления весовым контролем повышает эффективность автомобильных перевозок тяжеловесных грузов в целом.

3. На основе математического моделирования авторы пришли к выводу, что наиболее значимыми параметрами, влияющими на эффективность работы дороги, являются состояние дороги, средняя скорость движения и эффективность управления тяжеловесными транспортными средствами. Выбор и оценка аппаратуры и оборудования для ТАСУ ВК ГТС основывается на этих параметрах.

4. Создана методика рационального оснащения автоматических пунктов весового контроля грузовых транспортных средств при перевозках автомобильным транспортом, включающая определенный алгоритм рационального выбора средств взвешивания с применением экспериментально определенного обобщенного критерия: степени эффективности идентификации весовых параметров автомобильной техники (P_i).

Вклад авторов: Р.Н.С. – обоснование концепции исследования; планирование исследования. Д.Д.Б. – обобщение результатов исследования; сравнительный анализ; формулировка выводов; интерпретация результатов исследования; анализ и систематизация экспериментальных данных; оформление рукописи. Все авторы ознакомились и согласились с опубликованным вариантом рукописи.

Финансирование: Данное исследование не получало внешнего финансирования.

Заявление Совета по институциональному надзору: Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией и было одобрено Советом по институциональному контролю (или Комитетом по этике) Санкт-Петербургского горного университета (протокол № 14 от 29 апреля 2022 г.).

Заявление о доступности данных: Данные, представленные в настоящем исследовании, находятся в открытом доступе на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики РФ: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>; официальном сайте Европейского союза: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX_%3A52021SC0475&qid=2 (дата обращения: 5 мая 2022 г.). Официальный сайт Европейской экономической комиссии ООН: <https://unece.org/sites/default/files/2021-01/ECE-TRANS2021-15r.pdf> (дата обращения: 5 мая 2022 г.); Официальный сайт Министерства транспорта Российской Федерации // <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (дата обращения: 5 мая 2022 г.).

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Drop, N.; Garlińska, D. Evaluation of Intelligent Transport Systems Used in Urban Agglomerations and Intercity Roads by Professional Truck Drivers. *Sustainability* 2021, 13, 2935. <http://doi.org/10.3390/su13052935>
- Rudskoy, A.; Ilin, I.; Prokhorov, A. Digital Twins in the Intelligent Transport Systems. *Transp. Res. Procedia* 2021, 54, 927–935. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.152>
- Sjoberg, K.; Andres, P.; Buburuzan, T.; Brakemeier, A. Cooperative intelligent transport systems in Europe: Current deployment status and outlook. *IEEE Veh. Technol. Mag.* 2017, 12, 89–97. <http://doi.org/10.1109/MVT.2017.2670018>
- Bäumler, I.; Kotzab, H. Intelligent transport systems for road freight transport—An overview. In *Dynamics in Logistics*; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 279–290. http://doi.org/10.1007/978-3-319-45117-6_25
- Abramovich, B.N.; Bogdanov, I.A. Improving the efficiency of autonomous electrical complexes of oil and gas enterprises. *J. Min. Inst.* 2021, 249, 408–416. <http://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.10>
- Alamandala, S.; Sai Prasad, R.L.N.; Pancharathi, P.K.; Pavan, V.D.R.; Kishore, P. Study on bridge weigh in motion (BWIM) system for measuring the vehicle parameters based on strain measurement using FBG sensors. *Opt. Fiber Technol.* 2021, 61, 102440. <http://doi.org/10.1016/j.yofte.2020.102440>
- Chatterjee, I.; Liao, C.-F.; Davisa, G.A. A statistical process control approach using cumulative sum control chart analysis for traffic data quality verification and sensor calibration for weigh-in-motion systems. *J. Intell. Transp. Syst.* 2017, 21, 111–122. <http://doi.org/10.1080/15472450.2016.1220306>

8. Safiullin, R.R.; Sivov, A.A. To the question of the formation of an adaptive system of weight and size control of vehicles during the delivery of goods. *IZVESTIA MAAO* 2020, 50, 35–38.
9. Hou, R.; Jeong, S.; Lynch, J.P.; Ettouney, M.M.; Law, K.H. Data-driven analytical load rating method of bridges using integrated bridge structural response and weigh-in-motion truck data. *Mech. Syst. Signal Process.* 2021, 163, 108128. <http://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.108128>
10. Chen, S.-Z.; Wu, G.; Feng, D.-C. Development of a bridge weigh-in-motion method considering the presence of multiple vehicles. *Eng. Struct.* 2019, 191, 724–739. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.095>
11. Tahaei, N.; Yang, J.J.; Chorzepa, M.G.; Kim, S.S.; Durham, S.A. Machine learning of Truck Traffic Classification groups from Weigh-in-Motion data. *Mach. Learn. Appl.* 2021, 6, 100178. <http://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100178>
12. Feng, M.Q.; Leung, R.Y.; Eckersley, C.M. Non-Contact vehicle Weigh-in-Motion using computer vision. *Measurement* 2020, 153, 107415. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107415>
13. Jacob, B.; Feypell-de La Beaumelle, V. Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology. *IATSS Res.* 2010, 34, 9–15. <http://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.06.003>
14. Alkhoori, F.A.; Maghelal, P.K. Regulating the overloading of heavy commercial Vehicles: Assessment of land transport operators in Abu Dhabi. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 2021, 154, 287–299. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2021.10.019>
15. Zhao, S.; Yang, J.; Tang, Z.; Li, Q.; Xing, Z. Methodological Study on the Influence of Truck Driving State on the Accuracy of Weigh-in-Motion System. MDPI Special Issue “Soft Computing in Intelligent Transportation System”. *Information* 2022, 13, 130. <http://doi.org/10.3390/info13030130>
16. Vasilyeva, N.V.; Boikov, A.V.; Erokhina, O.O.; Trifonov, A.Y. Automated digitization of radial charts. *J. Min. Inst.* 2021, 247, 82–87. <http://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.9>
17. Aleksikov, S.V.; Rusanov, M.I.; Fomenko, N.A.; Boldin, A.I.; Leskin, A.I. Ensuring the safety of regional roads through the introduction of weight control. *Bull. VGASU* 2018, 53, 66–71.
18. Loktionova, T.S.; Gorelykh, D.S.; Novikov, I.A. Main types of violations of equipment of weight control posts: The collection of the conference Organization and Safety of Road Traffic. In Proceedings of the Materials of the XII National Scientific and Practical Conference with International Participation, Tyumen, Russia, 14 March 2019; pp. 274–276.
19. Gatta, V.; Marcucci, E.; Le Pira, M. Smart urban freight planning process: Integrating desk, living lab and modelling approaches in decision-making. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2017, 9, 32. <http://doi.org/10.1007/s12544-017-0245-9>
20. Semykina, I.Y.; Kipervasser, M.V.; Gerasimuk, A.V. Study of drive currents for lifting bridge cranes of metallurgical enterprises for early diagnosis of load excess weight. *J. Min. Inst.* 2021, 247, 1–10. <http://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.13>
21. Comi, A.; Schiraldi, M.M.; Buttarazzi, B. Smart urban freight transport: Tools for planning and optimising delivery operations. *Simul. Model. Pract. Theory* 2018, 88, 48–61. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.08.006>
22. Saleh, H.M.; Nuzhdin, R.V.; Kurochkin, S.V. Application of systems of telematics on commercial vehicles//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. *IOP Publ.* 2019, 695, 012014. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/695/1/012014>
23. Afanasyev, A.S.; Egoshin, A.M.; Alekseev, S.V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises Journal of Physics: Conference Series Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. *J. Phys. Conf. Ser.* 2019, 1399, 033021. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033021>
24. Kerimov, M.; Marusin, A.; Marusin, A.; Danilov, I. Methodological aspects of building mathematical model to evaluate efficiency of automated vehicle traffic control systems. *Transp. Res. Procedia* 2020, 50, 253–261. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.031>
25. Afanasyev, A.S.; Chudakova, N.V. Refinement of the parameters of the braking process of vehicles of category M1 in the operating conditions of the North-West region. *World Transp. Technol. Mach.* 2019, 67, 88–94.
26. Zenov, V.V.; Starikov, A.V. Functional structure and features of building an automated system of dynamic weight and dimensional control of trucks. *Actual directions of scientific research of the 21st century: Theory Pract.* 2018, 41, 29–33.
27. Alexandrov, V.I.; Vasileva, M.A.; Koptev, V.Y. Effective Power and Speed of Mining Dump Trucks in Fuel Economy Mode. *J. Min. Inst.* 2019, 239, 556. <http://doi.org/10.31897/pmi.2019.5.556>
28. Safiullin, R.N.; Belikova, D.D.; Morozov, E.V. System of automatic identification of vehicles using a matrix QR code. *Bull. Civ. Eng.* 2020, 2, 195–201. <http://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-2-195-201>
29. Afanasyev, A.S.; Egoshin, A.M.; Alekseev, S.V. Simulation model of the organization of technological transport movement at a mining enterprise. *J. Phys. Conf. Ser.* 2021, 1753, 012008. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1753/1/012008>
30. Kozyaruk, A.E.; Kamyshyan, A.M. Improving the Energy Efficiency of the Electromechanical Transmission of an Open-pit Dump Truck. *J. Min. Inst.* 2019, 239, 576. <http://doi.org/10.31897/pmi.2019.5.576>
31. Kondrasheva, N.K.; Rudko, V.A.; Nazarenko, M.Y.; Gabdulhakov, R.R. Effect of parameters of delayed coking of asphalt on the yield and quality of liquid and solid products. *J. Min. Inst.* 2020, 241, 97. <http://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.97>
32. Belov, A.V. Problems of organization and management of road traffic in the emergence of unmanned cars. *Sci. Technol. Road Sect.* 2017, 81, 29.
33. Safiullin, R.N.; Afanasyev, A.S.; Reznichenko, V.V. The concept of development of monitoring systems and management of intelligent technical complexes. *J. Min. Inst.* 2019, 237, 322–330. <http://doi.org/10.31897/pmi.2019.3.322>
34. Semin, M.A.; Grishin, E.L.; Levin, L.Y.; Zaitsev, A.V. Automated ventilation control in mines. Challenges, state of the art, areas for improvement. *J. Min. Inst.* 2020, 246, 623–632. <http://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.4>
35. Urazakov, K.R.; Molchanova, V.A.; Tugunov, P.M. Method for calculating dynamic loads and energy consumption of a sucker rod installation with an automatic balancing system. *J. Min. Inst.* 2020, 246, 640–649. <http://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.6>