

ISSN 2709-5622

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ:

конструирование, эксплуатация, технологии

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 6

Минск
БНТУ
2024

УДК [656+625](082)
ББК 39я43
Т65

Адрес редакции: 220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12
Тел.: +375173310548 **E-mail:** d.kapsky@bntu.by; d.kapsky@gmail.com
Web: avto_traktor_bud@bntu.by

При цитировании материалов сборника ссылка обязательна. Перепечатка материалов допускается только по согласованию с редакцией и авторами.

Статьи данного выпуска содержат материалы теоретических и экспериментальных исследований автомобилей, тракторов и их двигателей. Рассматриваются вопросы эксплуатации и ремонта автомобильной техники, безопасности дорожного движения. Значительное место уделяется методике подготовки специалистов в сфере транспорта.

Сборник рассчитан на инженерно-технических работников заводов и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей и аспирантов УВО.

Сборник включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

Публикуемые материалы рецензируются.

УЧРЕДИТЕЛЬ: БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – Сергей Васильевич Харитончик.

Зам. главного редактора – Д. В. Капский (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Технический секретарь – С. В. Богданович (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Б. Бекер (Дрезденский Институт автомобильных технологий, Дрезден, Германия),

В. П. Бойков (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

В. Ванцевич (Алабамский университет в Бермингеме, Бермингем, США),

С. Гаца (Краковская политехника, Краков, Польша),

В. В. Гаевский (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

А. К. Головнич (Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь),

В. Иванов (Технический университет, Ильменау, Германия),

Р. Б. Ивуть, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

И. В. Кабашкин (Институт транспорта и связи, Рига, Латвия),

В. А. Коробкин (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Г. М. Кухаренок (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

О. Н. Ларин (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

А. О. Лобаиов (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Э. Морис (университет Лафборо, Лафборо, Великобритания),

П. Л. Мариев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения. Минск, Республика Беларусь),

П. А. Пегин (Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения имени Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация),

Л. Персия (Римский институт Ла Сапиенца, Рим, Италия),

И. Н. Пугачев (Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Хабаровск, Российская Федерация),

А. И. Рябчинский (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

И. С. Сазонов (Белорусско-российский университет, Могилев, Республика Беларусь),

А. Т. Скойбеда, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Л. Цевек (ООО «Knorr-Bremse», Будапешт, Венгрия),

А. В. Шмелев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения». Минск, Республика Беларусь),

А. Г. Шумилин (Национальная академия наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь),

Д. Яннис (Национальный технический университет Афин, Афины, Греция).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>БОЙКОВ В. П., ЖДАНОВИЧ Ч. И., ПОЗДНЯКОВ Н. А.</i> Кинематический анализ комбинированного механизма отбора мощности поршневого двигателя внутреннего сгорания	6
<i>МИХАЛЬЧЕНКО А. А., НИН Ю.И.</i> Применение искусственного интеллекта в пассажирской логистике	13
<i>РЫНКЕВИЧ С. А., СОНИЧ О. А.</i> Анализ отказов и испытания передач со сложным движением звеньев	19
<i>СЕМЧЕНКОВ С. С., КОРОЛЬЧУК М. А., КАПСКИЙ Д. В.</i> Повышение эффективности городского пассажирского транспорта путем реорганизации маршрутной сети трамвая в г. Минске	26
<i>ЛЕБЕДЕВА М. Р., ЛОБАШОВ А. О.</i> Статистический анализ дорожно-транспортных происшествий в городе Минске: тенденции и факторы риска..	36
<i>ФИЛАТОВ Е. А.</i> Безопасность маневровой работы в стрелочных зонах железнодорожных станций.....	45
<i>БОГДАНОВИЧ С. В., ЗАЙЦЕВА И. С.</i> Анализ подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог	53
<i>БОГДАНОВИЧ С. В.</i> Методология системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры.....	65
<i>ГУРСКИЙ А. С.</i> Способы учета условий эксплуатации электрических автотранспортных средств при определении корректирующих коэффициентов периодичности и трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта	80
<i>БЕЛАБЕНКО Д. С.</i> О термине «коробка передач»	88
<i>ПЛИЩ В. Н.</i> Экономическая эффективность применения на гусеничных тракторах ходовых систем с двумя поддерживающими катками	96
<i>ХАРИТОНЧИК С. В., ЕРМИЛОВ С. В., ЖИЛЕВИЧ М. И.</i> Расчетные исследования и анализ переходных характеристик модулятора гидравлической антиблокировочной системы для автомобилей особо большой грузоподъемности	104
<i>СУШКО А. А.</i> Вопросы классификации транспортных средств, участвующих в дорожном движении	112

<i>ХОДОСКИН Д. П., АТАМАНЕНКО А. С.</i> Анализ зарубежного опыта по снижению числа ДТП на регулируемых перекрестках с уязвимыми участниками дорожного движения.....	122
<i>БЕЛЕНИНИК А. И., КЛОКОВ Д. В., ЗАХАРОВ А. В., ЕРМИЛОВ С. В.</i> Математическое моделирование гидрообъемного рулевого управления универсальной мобильной машины	128
<i>ХОДОСКИНА О. А., ГАТАЛЬСКИЙ Е. А.</i> Актуальность применения элементов искусственного интеллекта в управлении городскими транспортными потоками	136
<i>ПОВАРЕХО А. С.</i> Динамика торможения полноприводного трактора при движении по криволинейной траектории	143

БОЙКОВ В. П., д-р техн. наук, проф.,
зав. каф. «Тракторы»
E-mail: trak_atf@bntu.by

ЖДАНОВИЧ Ч. И., канд. техн. наук, доц.,
доц. каф. «Тракторы»
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

ПОЗДНЯКОВ Н. А.,
ст. преп. каф. «Тракторы»
E-mail: npozdnjakov@gmail.com

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 03.09.2024

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО МЕХАНИЗМА ОТБОРА МОЩНОСТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Эффективность конструктивной схемы любого механизма базируется на теоретических основах взаимодействия звеньев механизма между собой и в составе машины в целом. Исследуемый механизм предназначен для преобразования возвратно-поступательного движения поршня двигателя внутреннего сгорания во вращательное движение выходного вала, с которого отбирается мощность двигателя. Особенностью такого механизма является характер взаимодействия криволинейной поверхности направляющей, связанной с поршнем и совершающей возвратно-поступательное движение, с роликами, расположенными на консолях Т-образного вала, совершающего вращательное движение и кинематически связанным с выходным валом. Формирование участков криволинейной поверхности направляющей выполнено по ее развертке с выделением характерных участков, имеющих отличные геометрические параметры. Для обоснования конструктивных параметров механизма с описанными звеньями необходимо иметь представления об их взаимосвязи с получаемыми кинематическими характеристиками. Методика оценки кинематических показателей, включающая зависимости перемещения, скорости и ускорения поршня от угла поворота выходного вала разработана на основе анализа геометрических характеристик звеньев механизма и особенностей их взаимного перемещения. В соответствии с поставленной целью аналитических исследований комбинированного механизма отбора мощности поршневого ДВС были определены принципы выбора конструктивных параметров передаточных элементов, необходимых для оценки энергетической характеристики механизма.

Ключевые слова: механизм отбора мощности, тангенциальный механизм, профиль направляющей, скорость поршня, ускорение поршня, развертка направляющей, угол поворота направляющей.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности автотракторных ДВС является применение рациональных схем преобразования тепловой энергии сгорания топлива в механическую работу. Такое преобразование традиционно происходит с помощью классического кривошипно-шатунного механизма (КШМ)

[1, 2]. Его свойства и технология изготовления совершенствовались более 100 лет, а конструктивные особенности во многом оказывают влияние на общий КПД двигателя [3].

Это позволяет получать значения удельной мощности, характерные и приемлемые для современных поршневых ДВС, используемых преимущественно в качестве энергетических

установок тягово-транспортных средств, а их общий (эффективный) КПД не превышает 42 % [4], во многом ввиду особенностей силового взаимодействия звеньев КШМ (рис. 1, а).

В течение длительного срока использования классического КШМ предпринимались многочисленные попытки поиска и применения альтернативных кинематических схем [5–8] однако широкого применения в области автотракторостроения они не нашли по разным причинам [9].

Предлагаемая схема комбинированного механизма преобразования поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала двигателя, подробно описанная в [10], имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным КШМ и позволит достичь снижения механических и тепловых потерь поршневых ДВС до 40 %.

Такая схема предполагает преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение выходного вала путем кинематического взаимодействия направляющей (рис. 1, б) передаточного элемента, жестко связанного с поршнем, с роликом Т-образного вала. Поскольку тангенциальная сила T в описанном механизме создается в плоскости вращения ролика, то такой механизм в работе [11] предлагается называть тангенциальным.

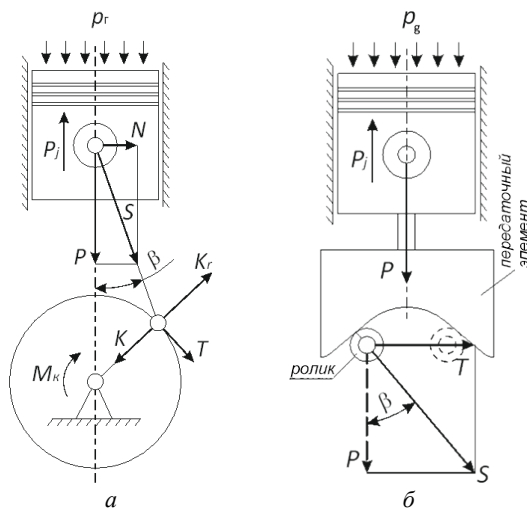


Рисунок 1 – Схемы сил, действующих в КШМ (а) и тангенциальном механизме (б):

p_g – давление в цилиндре; P – сила, передаваемая вдоль оси цилиндра; T – тангенциальная сила; P_j – сила инерции возвратно-поступательно движущихся деталей; S – суммарная сила, действующая на кривошип; K – сила, действующая по радиусу кривошипа; N – радиальная сила на стенку цилиндра; K_r – центробежная сила инерции кривошипа; M_k – крутящий момент

Для обоснованной оценки эффективности тангенциального механизма, а также оптимизации конструктивных параметров его дета-

лей, необходимо определить принципы геометрического построения взаимодействующих поверхностей и оценочные кинематические параметры.

Цель работы – провести кинематический анализ комбинированного механизма отбора мощности поршневого ДВС.

Принципы построения поверхности направляющей

Энергия термодинамического цикла внутри цилиндра двигателя в механизме отбора мощности передается от поступательно движущегося поршня через шток, на котором закреплен передаточный элемент (рис. 1, б), взаимодействующая с роликами Т-образного вала.

Передаточный элемент имеет криволинейную направляющую и выполнен в форме цилиндра с профильной контактной поверхностью. Развертка профиля контактной поверхности представлена на рис. 2.

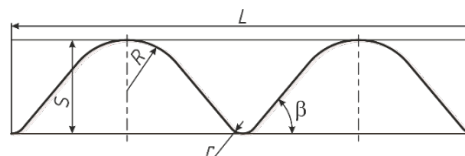


Рисунок 2 – Схема профиля направляющей

Профиль направляющей имеет следующие параметры:

- длина профиля L , определяемая средним диаметром $D_{ср}$ направляющей;
- высота профиля, равная величине хода поршня S , совершаемого при его движении от верхней мертвой точки до нижней мертвой точки;
- внутренним радиусом профиля R ;
- внешним радиусом профиля r ;
- углом наклона профиля β .

При заданных параметрах цилиндропоршневой части двигателя, определяемых диаметром D цилиндра и хода S поршня параметры развертки направляющей будут определены исходя из ее базовых параметров: R , r , β .

Анализируя геометрические соотношения отдельных участков развертки направляющей, можно определить длину развертки L .

Для этого определим высоты l_c и L_c (рис. 3), используя свойства вписанных окружностей радиусами r и R : в треугольники с вершинами A и B :

$$l_c = \frac{r}{\sin(\gamma/2)}; \quad L_c = \frac{R}{\sin(\gamma/2)},$$

где γ – угол у вершин A и B , который определяется как $\gamma = 180 - 2\beta$, тогда:

$$l_c = \frac{r}{\sin(90 - \beta)}; \quad L_c = \frac{R}{\sin(90 - \beta)}. \quad (1)$$

Условная высота направляющей, ограниченная вершинами A и B :

$$S' = S + (l_c - r) + (L_c - R). \quad (2)$$

Тогда длина развертки (рис. 2):

$$L = 4 \cdot \frac{S'}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{4 \cdot (S + l_c - r + L_c - R)}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (3)$$

Учитывая зависимости (1–3) окончательно определяем:

$$L = 4 \cdot \left(S + \frac{r}{\sin(90 - \beta)} - r + \frac{R}{\sin(90 - \beta)} - R \right) / \operatorname{tg} \beta. \quad (4)$$

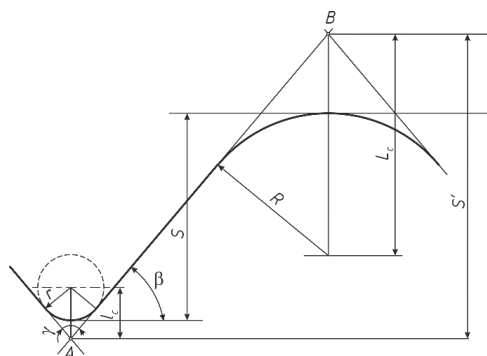


Рисунок 3 – Схема для определения параметров развертки

Средний диаметр направляющей:

$$D_{\text{ср}} = \frac{L}{\pi} = \frac{4 \cdot \left(S + \frac{r}{\sin(90 - \beta)} - r + \frac{R}{\sin(90 - \beta)} - R \right) / \operatorname{tg} \beta}{\pi}. \quad (5)$$

Результаты расчетов параметров направляющей для нескольких значений хода S поршня представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры поверхностей направляющей

Ход поршня S , мм	50	56	78
Внутренний радиус профиля R , мм	52		
Внешний радиус профиля r , мм	12		
Угол наклона профиля β , град	50		
Угол раствора профиля γ , град	80		
Высота угла над радиусом вершины l_c , мм	18,67		

Окончание таблицы 1

Высота угла над радиусом впадины L_c , мм	80,90		
Условная высота направляющей S' , мм	85,6	91,6	113,6
Длина развертки L , мм	287,2	307,3	381,2
Средний диаметр направляющей $D_{\text{ср}}$, мм	91,4	97,8	121,3

Предварительно с целью повышения степени унификации деталей двигателя и технологического оборудования для их производства значения R и r , а также угол наклона профиля β приняты одинаковыми для всех значений S .

Кинематика взаимодействия ролика и направляющей

Характер силового взаимодействия поверхности направляющей и ролика Т-образного вала отбора мощности определяется кинематическими параметрами ролика и профиля направляющей.

Задачей кинематического анализа ролика и направляющей является определение координат положения ролика в зависимости от угла φ поворота Т-образного вала.

Схема перемещения ролика по профилю развертки направляющей представлена на рис. 4.

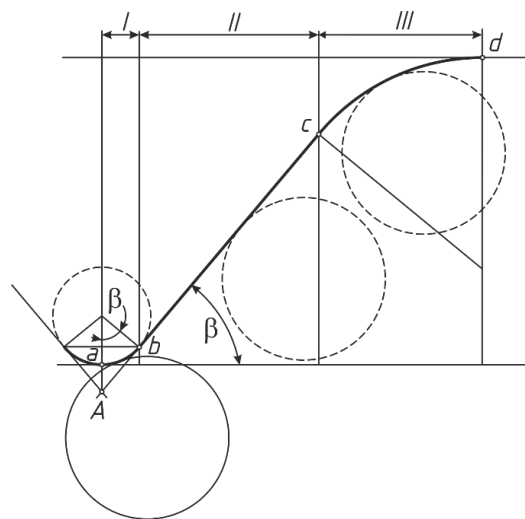


Рисунок 4 – Схема перемещения ролика по профилю развертки направляющей

Всю развертку профиля удобно представить в виде характерных участков:

I – движение ролика по криволинейной поверхности с радиусом r ;

II – движение ролика по поверхности с постоянным углом наклона β ;

III – движение ролика внутри криволинейной поверхности с радиусом R .

Рассмотрим особенности движения ролика на каждом из участков. Основная цель кинема-

тического расчета на участках – определение текущего значения угла β наклона профиля направляющей, перемещения поршня s , скорости v и ускорения j , соответствующих заданным значениям угла φ поворота Т-образного вала.

Исследуя участок I (рис. 4), рассмотрим схему, представленную на рис. 5.

Рассмотрим движение ролика при перемещении его из точки a в точку a' . При этом горизонтальное перемещение ΔL оси ролика будет соответствовать углу поворота Т-образного вала относительно направляющей на угол $\Delta\varphi$:

$$\Delta L = \frac{\Delta\varphi \cdot L}{360}, \quad (6)$$

где L – общая длина направляющей.

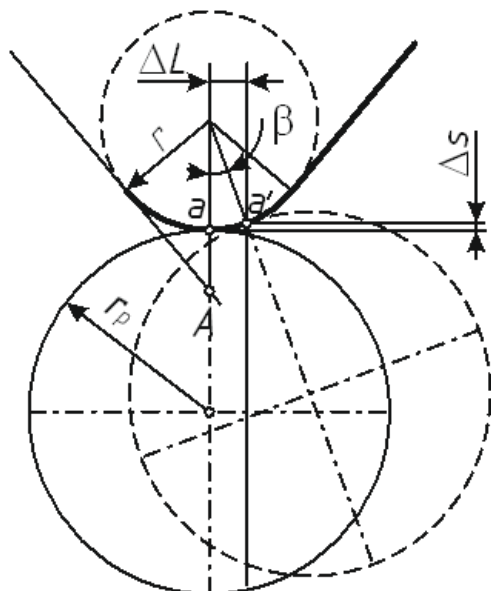


Рисунок 5 – Схема качения ролика на участке I развертки профиля направляющей

Вертикальное перемещение Δs ролика с направляющей и, соответственно, поршня определится как:

$$\Delta s = r \cdot (1 - \cos\beta), \quad (7)$$

где r – внешний радиус профиля; β – значение угла наклона профиля, соответствующее углу поворота $\Delta\varphi$.

Значение угла β в зависимости от $\Delta\varphi$ можно определить как:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\Delta L}{r}\right). \quad (8)$$

Зависимость угла β от угла поворота Т-образного вала представлена на рис. 6.

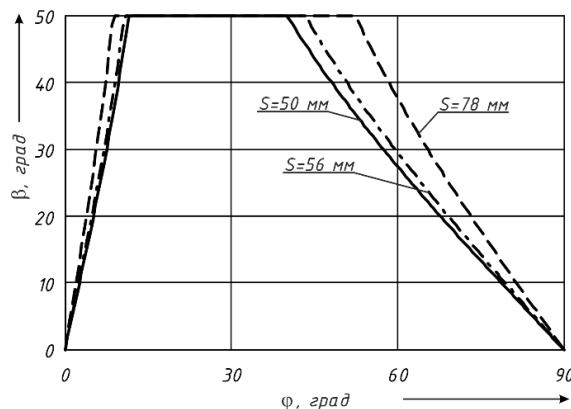


Рисунок 6 – Характер изменения угла наклона профиля β по углу φ поворота вала отбора мощности при различных величинах хода S поршня

Время Δt , за которое направляющая с поршнем переместятся на величину Δs , соответствующую углу $\Delta\varphi$, зависит от угловой скорости ω вращения Т-образного вала, и, с учетом того, что четырехтактный цикл двигателя совершается за один оборот (360°) выходного вала:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta\varphi}{360 \cdot \omega}.$$

Учитывая, что $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$, получим:

$$\Delta t = \frac{\Delta\varphi}{6 \cdot n}, \quad (9)$$

где n – частота вращения вала отбора мощности.

Скорость v вертикального перемещения направляющей определяется дифференцированием перемещения s направляющей по времени t :

$$v = \frac{ds}{dt}. \quad (10)$$

Ускорение j вертикального перемещения направляющей определяется дифференцированием скорости v по времени t :

$$j = \frac{dv}{dt}. \quad (11)$$

В данной работе используем метод численного табличного дифференцирования.

На участке II движения ролика по профилю направляющей угол β наклона направляющей имеет постоянное значение, а значения кинематических показателей в зависимости от угла φ поворота Т-образного вала:

$$\Delta s = \Delta L \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

а скорости и ускорения определяются дифференцированием (10) и (11).

Движение ролика на участке III (рис. 7) аналогично движению ролика на участке I. Отличие заключается в характере внутреннего «зацепления» ролика с поверхностью профиля направляющей.

Горизонтальное перемещение определяется зависимостью (6). Вертикальное перемещение Δs ролика с направляющей и, соответственно, поршня:

$$\Delta s = S - R \cdot (1 - \cos \beta),$$

где S – ход поршня.

Значение угла β в зависимости от $\Delta \varphi$ можно определить по (8), используя вместо r значение R . Время Δt , за которое направляющая с поршнем переместятся на величину Δs определяется зависимостью (9). Скорость v перемещения поршня определяется дифференцированием перемещения s поршня по времени t в соответствии с (10) и (11).

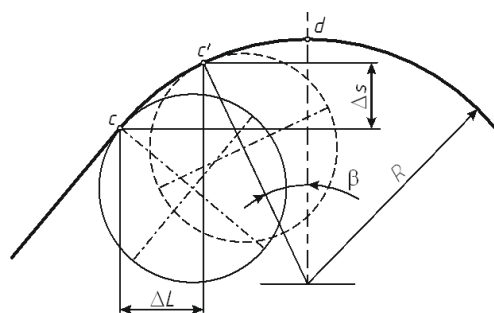


Рисунок 7 – Схема качения ролика на участке III развертки профиля направляющей

Результаты расчета перемещения, скорости и ускорения представлены на рис. 8–10.

Заключение

В соответствии с поставленной целью аналитических исследований комбинированного механизма отбора мощности поршневого ДВС были определены принципы выбора конструктивных параметров передаточных элементов, необходимых для оценки энергетической характеристики механизма. Такими параметрами являются: длина L профиля направляющей; высота S профиля; внутренний радиус R профиля; внешний радиус r профиля; угол β наклона профиля. Выполненный кинематический анализ, включающий зависимости перемещения s , скорости v и ускорения j поршня от угла поворота выходного вала позволит в дальнейшем

определять динамические показатели комбинированного механизма отбора мощности и оценивать прочностные свойства его деталей.

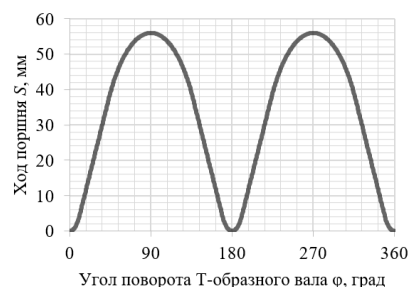


Рисунок 8 – График зависимости перемещения s поршня от угла φ поворота Т-образного вала

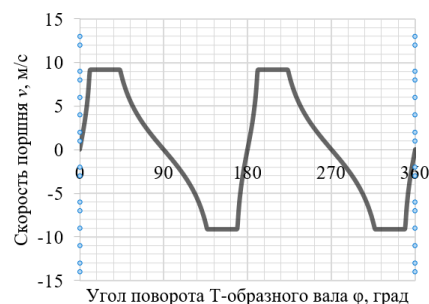


Рисунок 9 – График зависимости скорости v поршня от угла φ поворота Т-образного вала

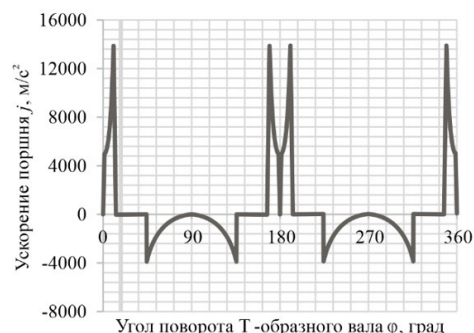


Рисунок 10 – График зависимости ускорения j поршня от угла φ поворота Т-образного вала

Литература

1. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2008. – 496 с.
2. Автомобильные двигатели / В. М. Архангельский, М. М. Вихерт, А. Н. Воинов [и др.]; под ред. М. С. Ховаха. – М. : Машиностроение, 1977. – 591 с.
3. Расчет систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания математическими методами: учебное пособие / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, Л. Ю. Михайлова [и др.]; под ред. Ю. П. Макушева. – Омск : СибАДИ, 2011. – 284 с.

4. Двигатели внутреннего сгорания. Динамика и конструирование: учебник для вузов : в 3 кн. / В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров [и др.]; под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3 изд. перераб. – М. : Высш. шк., 2007. – 3 кн.

5. Баландин, С. С. Бесплатунные двигатели внутреннего сгорания : в 3 кн. / С. С. Баландин. – М. : Машиностроение, 1972 г. – 3 кн.

6. Альтернативные схемы двигателей: пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост.: В. В. Альферович. – Минск : БНТУ, 2022. – 49 с.

7. Тер-Мкртичян, Г. Г. Вопросы теории двигателей с управляемым движением поршней с плоскими преобразующими механизмами / Г. Г. Тер-Мкртичян, В. Ф. Кутенев, А. И. Яманин. – М. : НАМИ, 2004. – 240 с.

8. Тер-Мкртичян, Г. Г. Управление движением поршней в двигателях внутреннего сгорания / Г. Г. Тер-Мкртичян. – М. : Металлургия, 2011. – 304 с.

9. Машиностроение. Двигатели внутреннего сгорания / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков [и др.]; под общ. ред. А. А. Александрова

и Н. А. Иващенко. – М. : Машиностроение. – 2013. – 784 с.

10. Бойков, В. П. Анализ кинематических схем автотракторных двигателей / В. П. Бойков, Н. А. Поздняков, П. В. Шаплыко // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов: в 2 т. / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – Т. 1. – С. 174–183.

11. Бойков, В. П. Энергетический анализ тангенциального механизма двигателя внутреннего сгорания (ДВС) / В. П. Бойков, П. В. Шаплыко, Н. А. Поздняков // Научные решения проблем развития тракторной техники, многоцелевых колесных и гусеничных машин, городского электротранспорта: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященный 65-летию кафедры «Тракторы», 20–21 января 2019 / редкол.: В. П. Бойков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 127–136.

UDK 629.114.4

BOIKOV Vladimir P., Doctor of technical Sciences, Professor,
Head of the Department «Tractors»¹
E-mail: trak_atf@bntu.by

ZHDANOVICH Cheslav I., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

POZDNJAKOV Nikolai. A.,
Senior Lecturer
E-mail: npozdnjakov@gmail.com

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 03 September 2024

KINEMATIC ANALYSIS OF THE COMBINED POWER TAKE-OFF MECHANISM OF A RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The effectiveness of the constructive scheme of any mechanism is based on the theoretical foundations of the interaction of the links of the mechanism with each other and as part of the machine as a whole. The mechanism under study is designed to convert the reciprocating motion of the piston of an internal

combustion engine into the rotational motion of the output shaft, from which the engine power is taken. A feature of such a mechanism is the nature of the interaction of the curved surface of the guide connected to the piston and performing reciprocating motion with the rollers located on the consoles of the T-shaped shaft performing rotational motion and kinematically connected to the output shaft. The formation of sections of the curved surface of the guide is performed according to its sweep with the allocation of characteristic sections with excellent geometric parameters. To substantiate the structural parameters of the mechanism with the described links, it is necessary to have an idea of their relationship with the obtained kinematic characteristics. The methodology for evaluating kinematic indicators, including the dependence of displacement, speed and acceleration of the piston on the angle of rotation of the output shaft, is developed based on the analysis of the geometric characteristics of the links of the mechanism and the features of their mutual movement. In accordance with the objective of analytical studies of the combined power take-off mechanism of a reciprocating internal combustion engine, the principles of selecting the design parameters of the transmission elements necessary to assess the energy characteristics of the mechanism were determined.

Keywords: power take-off mechanism, tangential mechanism, guide profile, piston speed, piston acceleration, guide sweep, guide rotation angle.

References

1. Kolchin, A. I. Calculation of automobile and tractor engines: a textbook for students of higher educational institutions / A. I. Kolchin, V. P. Demidov. – ed. 4th. – M. : Higher School, 2008. – 496 p.
2. Automobile engines / V. M. Arkhangelsky, M. M. Vihert, A. N. Warriors [et al.]; edited by M. S. Khovakha. – M. : «Mechanical Engineering», 1977. – 591 p.
3. Calculation of systems and mechanisms of internal combustion engines by mathematical methods: textbook / Yu. P. Makushev, T. A. Polyakova, L. Yu. Mikhailova [et al.]; edited by Yu. P. Makushev. – Omsk : SibADI, 2011. – 284 p.
4. Internal combustion engines. Dynamics and design: textbook for universities : in 3 books / V. N. Lukanin, I. V. Alekseev, M. G. Shatrov [et al.]; edited by V. N. Lukanin and M. G. Shatrov. – 3rd ed. – M.: Higher School, 2007. – 3 b.
5. Balandin, S. S. Piston-less internal combustion engines : in 3 books / S. S. Balandin. M.: Mechanical engineering, 1972. – 3 b.
6. Alternative engine circuits: a guide for students of the specialty 1-37 01 01 «Internal combustion engines» / comp.: V. V. Alferovich. – Minsk : BNTU, 2022. – 49 p.
7. Ter-Mkrtichyan, G. G. Questions of the theory of engines with controlled piston movement with flat converting mechanisms / G. G. Ter-Mkrtichyan, V. F. Kootenev, A. I. Yamanin. – M. : NAMI Publishing House, 2004. – 240 p.
8. Ter-Mkrtichyan, G. G. Control of piston movement in internal combustion engines / G. G. Ter-Mkrtichyan. – M. : Metallutizdat, 2011. – 304 p.
9. Mechanical engineering. Editorial board / L. V. Grekhov, N. A. Ivashchenko, V. A. Markov [et al.]; Under the general editorship of A. A. Alexandrov and N. A. Ivashchenko. – M. : Mechanical Engineering, 2013. – 784 p.
10. Boikov, V. P. Analysis of kinematic schemes of the cars and tractors engines / V. P. Boikov, N. A. Pozdnyakov, P. V. Shaplyko // Automotive engineering and automobile transport: collection of scientific papers : in 2 vol. / Belarusian National Technical University, Faculty of Automotive Engineering; editorial board.: D. V. Kapsky (ed.) [et al.]. – Minsk : BNTU, 2022. – Vol. 1. – P. 174–183.
11. Boikov, V. P. Energy analysis of the tangential mechanism of an axial automobile combustion engine / V. P. Boikov, P. V. Shaplyko, N. A. Pozdnyakov // Scientific solutions to problems of development of tractor equipment, multi-purpose wheeled and tracked vehicles, urban electric transport : collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th to the anniversary of the department «Tractors», January 20–21, 2019 / editorial board: V. P. Boikov (ed.) [et al.]. – Minsk : BNTU, 2019. – P. 127–136.

MIKHALCHENKO A. A., Ph. D. in Eng.,
Ass. Prof. of the Department «General technical and special disciplines»¹
E-mail: mihh-19@mail.ru

NING Yulin, Master of Science²
E-mail: 929847736@qq.com

¹Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

²Guangdong Institute of Science and Technology, Guangzhou, China

Received 01 October 2024

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PASSENGER LOGISTICS

The development of passenger logistics in modern conditions required the use of artificial intelligence in the provision of transport services. In the passenger transportation system, it is used in the contact between the transport organization and the passenger. The article considers the sale of travel documents through the information network without the participation of representatives of transport organizations. The second area of using artificial intelligence is the automatic control of vehicles without a pilot. It allows you to fulfill the commercial schedule of transport at a new qualitative level. When using artificial intelligence in passenger logistics, opportunities are created to integrate several types of transport to perform a combined passenger trip. The possibility of organizing passenger transfers at transport hubs and their high-quality servicing when connecting trip elements on different types of transport is considered. Passenger logistics considers the integrated use of transport of various affiliations. Additional requirements for the use of artificial intelligence in transport organizations with their different affiliations are considered. In this regard, additional problems have arisen for the entire transport industry. They are associated with the intensive development of information technologies and their technical support on various types of transport, regardless of departmental affiliation.

Key words: passenger logistics, artificial intelligence, transport system, information technology, passenger, transport services.

Introduction

Passenger transportation is a socially significant transport activity. Given the increasing mobility of the population and the insufficient development of the passenger transportation system, the use of one type of transport to meet the demand for them is becoming difficult. In this regard, the integrated use of several types of transport was required when performing passenger transportation in almost all types of communication. Such use of types of transport for passenger transportation led to the creation and development of passenger logistics. Its use has no practical implementation without the use of elements of artificial intelligence and information technology. If we consider passenger logistics in transport as a whole, then significant changes have occurred in Belarus that determine its modern development. Such devel-

opment is primarily associated with the progress of digitalization and automation of the services offered, e-commerce [1]. Taking into account the development of digital technologies, the efficiency of the organization of passenger logistics increases and brings results. Unlike freight logistics, when implementing passenger logistics, it is necessary to take into account its inherent features: the social focus of transport activities, technological compatibility of types of passenger transport, the presence of a single payment system when performing transportation in various types of communication, a unified approach to forecasting passenger transportation, dependence on the activity of the population.

Purpose of the study

When considering the use of artificial intelligence in whole or in part in passenger logistics, it is appropriate to consider its modern concept itself. In the classical concept, artificial intelligence is considered as a phenomenon demonstrated by machines, in contrast to natural intelligence demonstrated by people. The study of artificial intelligence began in the 1950s, when systems could not perform tasks as well as humans. In the modern world, artificial intelligence is considered as a general goal of building a system that demonstrates consciousness and is capable of self-learning. The most well-known types of artificial intelligence consider machine learning, which is a type of artificial intelligence, and deep learning. When creating and developing artificial intelligence in transport, a number of problems arise that require an appropriate solution [5].

In passenger logistics, artificial intelligence is used in several areas:

- intellectual development of the passenger transport system, especially in the area of high-speed train traffic (over 400 km/h);
- in the area of financial support for the transportation process: servicing passengers at the stage of initial and final operations (purchase of electronic travel documents, their initial and intermediate control); conducting private banking operations;
- information support for passengers en route – provision of information services of the global network, local and global communications;
- ensuring the safety of transportation: use of automatic train driving (driver), diagnostics of the serviceability of the track development and signaling and communication equipment for train movement;
- creating contact between passengers and representatives of other types of transport if it is necessary to use it for a combined trip.

The public uses and interacts with artificial intelligence every day, but the value of AI in education and business is often overlooked. AI has significant potential in almost all industries, such as pharmaceuticals, manufacturing, medicine, architecture, law, and finance [2].

Transport companies use artificial intelligence to improve the transport services provided to the population, improve the quality of their performance, reduce costs, improve the quality of service, and save financial resources.

The use of artificial intelligence in passenger logistics significantly reduces the number of routine operations and the use of manual labor. This allows for a significant reduction in misunder-

standings between passengers and service personnel of transport organizations. The number of conflicts between passengers and representatives of transport organizations has decreased by 2–5 times over the past 10 years after the introduction of elements of artificial intelligence and information technology. The greatest distribution is reflected in the areas of business in the field of passenger transportation and tourism services.

1. Conducting an analysis of the use of digital technologies in the field of passenger logistics showed that transport organizations were able to overcome the principle of alienation between modes of transport and began to work in cooperation. The experience of the PRC has shown that with such interaction and involvement of the state, the maximum effect is achieved. A clear example is the air transportation of passengers in international traffic, carried out by Chinese airlines. Comprehensive services for tourists traveling to the PRC and their own citizens are considered as follows.

2. With a fare of \$ 700–750, the passenger pays \$ 280–420. To transport passengers, an aircraft with a higher passenger capacity of 520–580 passengers is used instead of 180–190.

3. The provision of transport services in the performance of initial and final operations is carried out using information technology and artificial intelligence (speech recognition, search for travel options by various modes of transport).

4. Search for acceptable tourist services according to budget parameters, time frames.

5. Search for options for trading goods from China and budgetary support for the transport system, trade, and tourism facilities, which allows for the greatest overall financial return with a visible low tariff.

Practical experience of inbound tourism in China shows that with relatively low tariffs at each stage of transport and tourism services, the state receives the maximum return as a whole. Artificial intelligence in transport is a set of methods for machine learning of personnel, operational data analysis, computer vision and automation of transport processes that can significantly improve the functioning of transport systems in the field of passenger transportation. These methods can be applied in various areas of passenger transport and logistics.

When studying the use of artificial intelligence and digital technologies in passenger logistics in various countries, the following results were obtained:

- allow to speed up document flow when providing transport services to passengers;

- a high level of competition between national carriers is maintained when they participate in the international passenger services market;

- an opportunity is created for effective investment in passenger logistics of various types of transport when integrating their services;

- the use of artificial intelligence, blockchain and large amounts of information technologies by logistics organizations and companies when performing passenger transportation, which can significantly increase the efficiency of employees;

- digital technologies allow to optimize passenger transportation, speed up business processes, especially in tourism, reduce cash costs and passenger delivery time.

The use of technologies in passenger logistics allows:

- 1) to consider artificial intelligence by functionality: optimization of transportation routes; scoring of counterparties and tour operators, transportation organizers; automation of business processes when working with passengers with the involvement of technological and financial resources;

- 2) to use blockchain in the sectors of passenger transportation logistics: inventory and tracking of current passenger routes; improving the quality of passenger transportation according to established parameters; payment for travel documents and invoicing by participants in the performance of passenger transportation; resolution of industrial and economic disputes between participants in the transportation process; improvement of the transparency of technological, technical and financial actions of transport organizations when interacting in a single transport process; the emergence and expansion of the private freight market (the presence of private owners of vehicles and infrastructure);

- 3) to master a large amount of information of various levels in the shortest possible time, which allows you to:

- forecasting and planning passenger transportation in total volume and by types of transport;

- monitoring the state of the passenger transportation market and the conditions for its development;

- monitoring the state of transport vehicles, infrastructure, financial position of organizations, prospects for their participation in the implementation of passenger transportation logistics;

- minimization of risks in passenger transportation by various types of communications and by time periods of the year (seasonality);

- development of a strategy for the development of passenger transportation logistics by one or more types of transport.

The use of new passenger logistics technologies in the context of the expansion of the passenger transportation market and the use of an intermodal transportation system by types of communications made it possible to achieve the following indicators [8]:

- technological – an increase in the volume of passenger transportation carried out according to integrated transport schemes in China by 2,8 times over five years, for the conditions of Belarus – 1,8 times;

- economic – to reduce the unprofitability of socially significant passenger transportation by 10–15% (intra-republican communication);

- to more actively implement technologies using artificial intelligence.

The use of new passenger logistics technologies in the context of the expanding passenger transportation market and the use of an intermodal transportation system by types of communications made it possible to achieve the following indicators [8]:

- technological – an increase in the volume of passenger transportation carried out according to integrated transport schemes in the PRC by 2,8 times over five years, for the conditions of Belarus – 1,8 times;

- economic – to reduce the unprofitability of socially significant passenger transportation by 10–15 % (intra-republican communication);

- more actively implement technologies using artificial intelligence. Artificial intelligence in passenger transportation makes it possible to regulate and control the state of ecosystems in transport during passenger transportation.

The use of information technologies together with artificial intelligence in rail transport makes it possible to perform the following functionality [6].

1. An intelligent system for dispatching management of the operational situation on railway sections, directions and especially in large railway junctions has been created for train traffic management. Using artificial intelligence, a train operation plan is developed and the safe passage of trains is ensured [4]. This is especially important when they are moving at high speed, when a person (dispatcher) in the control system cannot control a rapidly changing train situation.

2. For the implementation of passenger services: receiving an order for booking seats in vehicles, purchasing travel documents, paying for travel and carrying out the necessary banking operations using information technology.

3. Direct control of the movement of passenger trains in an automated schedule (a driver is used when driving passenger trains).

It is advisable to note the importance of the information basis for managing all passenger logistics sys-

tems when using elements of artificial intelligence [3]. It should be noted that when implementing it, the decisive task is to select the optimal route for a passenger's trip using the most suitable vehicle, logistics intermediaries, and mode of transport. Artificial intelligence in passenger logistics creates opportunities for supporting complex business processes and a large volume of information used. The volume of information used in passenger logistics, compared to cargo logistics, exceeds 4,5 times.

Using a large amount of information allows you to flexibly develop a business strategy in the field of passenger transportation, preferred passenger routes, and attract new transport customers. This approach allows you to increase the cash income of transport companies.

Analysis of business processes in passenger transportation logistics showed that the cost of transportation has a strong impact on demand and competitiveness. At the same time, it is necessary to take into account several options for organizing business processes in passenger logistics. They cannot be developed without the use of elements of artificial intelligence in the field of organizing and ensuring high-quality passenger transportation. In the transport industry, solutions using artificial intelligence have currently been developed. They allow you to evaluate factors in combination and offer the best option for transporting a passenger according to several criteria: travel time, its cost, quality and passenger satisfaction.

China's experience shows that the use of artificial intelligence for passenger logistics has allowed the expansion of the high-speed rail network to over 80 000 km and the largest network of such transportation in the world to be created. This makes high-speed passenger service highly profitable with large volumes of passenger transportation by train (4,5 billion on holidays).

The use of artificial intelligence in passenger logistics allows for a high-quality forecast of supply and demand for passenger transportation by type of communication, transportation volumes and problems in their organization. This allows for the adoption of well-founded strategies in the implementation of passenger logistics [7].

Artificial intelligence of passenger logistics has a positive effect on passenger transportation on all types of communications. It improves business processes in transport activities, guarantees the safety of the transportation process and ensures passenger satisfaction. It is used for auto-management of passenger fleet vehicles, analysis of transportation data in real time and forecasting of income and profit of transport enterprises.

The world's largest railway companies use artificial intelligence in passenger logistics to better inform the population about the provision of transport services.

The main advantage of using artificial intelligence in passenger logistics in rail transport is the ability to automate processes that were previously performed manually. For example, machine vision systems allow you to automatically determine the position and technical condition of the railway infrastructure, communication devices and automation of train traffic control. Algorithms for analyzing the received data allow you to predict possible emergency situations, diagnose them and prevent them at early stages.

The main application of artificial intelligence in passenger logistics in rail transport is also the optimization of the expected flow of passengers on different types of communication. Using machine learning algorithms and analysis of large amounts of data, an intelligent system is able to predict and adapt the train schedule taking into account negative technological factors - weather conditions, uneven departure of passengers. This solution allows you to reduce train delays, and improve the implementation of the train schedule, increase the punctuality of rail transport.

Considering that the motorization of the population is proceeding at a rapid pace, a decrease in the volume of passenger transportation is predicted. To maintain it at the required level, passenger logistics uses information for representatives of the private sector of motorists to improve their understanding of the situation on the road transport infrastructure. Using elements of artificial intelligence, users are provided with the identification of transport objects and tracking of their condition. This is important for potential passengers acting as drivers. They are warned about weather conditions, road accidents and the state of the environment. In this case, drivers become potential passengers. The introduction of artificial intelligence into the railway infrastructure system and passenger logistics can improve the safety of passenger transportation. The use of artificial intelligence elements in passenger logistics can detect and prevent possible emergency situations, especially those threatening the safety of passengers, provide information on the analysis of data coming from various sensors and cameras installed at stations, crossings and in cars. Artificial intelligence in passenger logistics provides automatic control and provides information on regulating the speed of trains of various categories. This helps prevent dangerous situations on railway sections and stations, with passengers during transportation.

Thus, the use of artificial intelligence in the railway infrastructure system is an important step in the development of the transport industry. Optimization of traffic flow and increased safety allow for more efficient and safe operation of rail transport, which has a positive effect on the comfort and convenience of passengers, as well as on the economic efficiency of transportation.

In order to assess the effectiveness of using artificial intelligence, an analysis of performance indices is carried out according to several parameters. These include:

- creation of a new data block confirming the effectiveness of using artificial intelligence in passenger logistics;
- analysis of the main performance indicators of the logistics industry in the implementation of passenger transportation. This is due to the rapidly developing digital technologies in the implementation of transport logistics;
- digitalization of the studied area of passenger logistics, which makes it possible to predict and track the route and type of transport, plan for passengers and the transport organization of transportation, predict the cost of expenses and expected implementation dates;
- assessment of performance indicators that allow assessing the quality of logistics services.

The development of artificial intelligence and its use in passenger logistics in rail transport is a controversial area. There is concern that with the increased attention to it when used in passenger logistics, it will be difficult to make it accessible to people from all socio-economic backgrounds. Therefore, developers of passenger logistics argue that the best way to promote artificial intelligence is through education and training of employees of transport organizations to prevent its biased attitude towards passengers.

The use of artificial intelligence in passenger logistics has significantly increased not only the efficiency of logistics, but also the quality of passenger service.

The technology of using artificial intelligence elements in passenger logistics can lead to optimization of the transportation route and increased efficiency of its implementation. At the same time, the use of information technology can make the entire transport operation traceable, and the process itself controllable and predictable. This allows you to exclude many uncontrollable factors in passenger logistics and ensure high quality of transportation.

Conclusion

The use of artificial intelligence in passenger logistics provides the following advantages.

Users of passenger logistics services of transport organizations can track the status of their orders for passenger transportation in real time from their mobile phones.

High efficiency is achieved in the field of distribution passenger logistics in large transport hubs using intelligent transport.

The problem of planning a passenger transportation route is solved with its integrated organization using several types of transport, provided that they are carried out safely with all the ensuing consequences [9].

The prospect of effective use of artificial intelligence and its combination with passenger logistics is considered, taking into account the following aspects: intelligent equipment reorganizes production factors of logistics (use of an express service system); intelligent computing changes the form of execution of logistics processes.

References

1. Jittrapirom, P., Caiati, V. Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. / P. Jittrapirom, V. Caiati, A.-M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M J. A. González, J. Narayan // *Urban Planning*. – 2017. – Volume 2, Issue 2. – P. 13–25.
2. Kaplan, A. On Interpretations, Illustrations, and Consequences of Artificial Intelligence / A. Kaplan, M. Henlein // *Business Horizons*. – 2019. – № 1. – P. 15–25 (in Russian).
3. Merkulov, D. A. Artificial Intelligence in Transport / D. A. Merkulov // *Scientific Leader*. – 2021. – № 2 – P. 35–38 (in Russian).
4. Gerami, V. D. Transport systems management. Transport support for logistics : [website] / V. D. Gerami, A. V. Kolik. – Yurait. – URL: <https://elibrary.ru/aspid=37487030> (Date of access: 09.23.2024) (in Russian).
5. Doroganov, V. S., Baumgarten M. I. Possible problems arising during the creation of artificial intelligence / V. S. Doroganov, M. I. Baumgarten // *Bulletin of the Kuzbass State University*. – 2013. – № 4/98. – P. 132–135 (in Russian).
6. Abramov, D. V. Application of elements of artificial intelligence in transport and logistics / D. V. Abramov, A. V. Korpukov, V. N. Shmal. – M.: Ridero, 2021. – 110 p (in Russian).
7. Khodoskina, O. A. The place of logistics resources in the work of railway transport. / O. A. Khodoskina // *Problems of security in transport: materials of the IX International. scientific-pract. conf.* / Under the total. ed. Yu.I. Kulazhenko. – Gomel : BelSUT, 2019. – P. 174–175 (in Russian).
8. Allard, R. F. The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Inter-city Transport Planning. / R. F. Allard, F. Moura // *Transport Reviews*. – 2015. – № 36(2). – P. 251–277.
9. Xu, Z. A review on passenger emergency evacuation from multi-modal transportation hubs. / Z. Xu, Q. Bai, Y. Shao, A. Hu, Z. Dong // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2022. – № 9(4). – P. 591–607.

МИХАЛЬЧЕНКО А. А., канд. техн. наук

доц. кафедры «Общетеchnические и специальные дисциплины»

E-mail: mihh-19@mail.ru

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

НИН Юйлинь, магистр наук,

E-mail: 929847736@qq.com

Гуандунский институт науки и технологий, г. Гуанчжоу, Китай

Поступила в редакцию 01.10.2024

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПАССАЖИРСКОЙ ЛОГИСТИКЕ

Развитие пассажирской логистики в современных условиях потребовало использования искусственного интеллекта при предоставлении транспортных услуг. В системе пассажирских перевозок он применяется при контакте транспортной организации и пассажира. Рассматривается продажа проездных документов через информационную сеть без участия представителей транспортных организаций. Вторым направлением использования искусственного интеллекта является автоматическое ведение транспортных средств без пилота. Оно позволяет на новом качественном уровне выполнять коммерческое расписание движения транспортных средств. При использовании искусственного интеллекта в пассажирской логистике создаются возможности интегрировать несколько видов транспорта для выполнения комбинированной поездки пассажира. Рассматривается возможность организации пересадок пассажиров в транспортных узлах и качественном их обслуживании при стыковании элементов поездки на различных видах транспорта. Пассажирская логистика рассматривает комплексное использование транспорта различной принадлежности. Рассматриваются дополнительные требования по использованию искусственного интеллекта в организациях транспорта при их различной принадлежности. В связи с этим возникли дополнительные проблемы для всей транспортной отрасли. Они связаны с интенсивным развитием информационных технологий и их техническим обеспечением на различных видах транспорта независимо от ведомственной принадлежности.

Ключевые слова: пассажирская логистика, искусственный интеллект, транспортная система, информационные технологии, пассажир, транспортное обслуживание.

Литература

1. Jittrapirom, P., Caiati, V., Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. / P. Jittrapirom, V. Caiati, A.-M. Feneri, S. Ebra-himigharehbaghi, M. J. A. González, J. Narayan // Urban Planning. – 2017. – Volume 2, Issue 2. – P. 13–25.

2. Каплан, А. Об интерпретациях, иллюстрациях и последствиях искусственного интеллекта / А. Каплан, М. Хенлейн // Горизонты бизнеса. – 2019 – № 1 – С. 15–25.

3. Меркулов, Д. А. Искусственный интеллект на транспорте / Д. А. Меркулов // Научный лидер. – 2021 – № 2 – С. 35–38.

4. Герами, В. Д. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики : [сайт] / В. Д. Герами, А. В. Колик. –

Юрайт. – URL: <https://elibrary.ru/aspid=37487030> (дата обращения 23.09.2024).

5. Дороганов, В. С. Возможные проблемы, возникающие при создании искусственного интеллекта / В. С. Дороганов, М. И. Баумгартен // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2013. – № 4/98. – С. 132–135.

6. Абрамов, Д. В. Применение элементов искусственного интеллекта на транспорте и в логистике / Д. В. Абрамов, А. В. Корпуков, В. Н. Шмаль. – М.: Ridero, 2021. – 110 с.

7. Ходоскина, О. А. Место логистических ресурсов в работе железнодорожного транспорта. / О. А. Ходоскина // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2019. – С. 174–175.

8. Allard, R. F., Moura, F. The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning. / R.F.Allard, F.Moura // Transport Reviews. – 2015. – № 36(2). – P. 251–277.

9. Xu, Z. A review on passenger emergency evacuation from multi-modal transportation hubs. / Z. Xu, Q. Bai, Y. Shao, A. Hu, Z. Dong // Journal of Traffic and Transportation Engineering. – 2022. – № 9(4). – P. 591–607.

УДК 629.3

РЫНКЕВИЧ С. А., д-р техн. наук, доц.,
доцент¹

E-mail: rynkev@tut.by

СОНИЧ О. А., магистр,

Зав. Научно-исследовательской лабораторией транспортных средств²

E-mail: oleson@tut.by

¹Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 04.09.2024

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ И ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕДАЧ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗВЕНЬЕВ

Рассмотрены вопросы исследования отказов в гидромеханических передачах, у которых звенья совершают сложные движения. Отмечено, что коробки передач в составе гидромеханических трансмиссий (ГМТ), являясь самыми дорогостоящими механизмами автотранспортных средств и других мобильных машин, имеют наименьший срок службы среди остальных агрегатов, причем многие элементы и сопряжения ГМТ, в частности, фрикционы переключения передач, в большой мере ограничивают надежность и долговечность. Проведен анализ причин возникновения опасных дефектов в передачах со сложным движением звеньев. Предложена конструкция мехатронной системы управления гидромеханической трансмиссии как эффективное средство диагностики и мониторинга отказов. Отмечено, что повышение надежности эксплуатации и увеличение ресурса мобильных машин, оснащенных ГМТ, а также безотказная работа фрикционов коробок передач обеспечивается путем комплексной активной диагностики их технического состояния на основе использования микропроцессорных бортовых систем. В процессе проведения ходовых испытаний были исследованы режимы трогания с места и разгона порожнего и груженого самосвала БелАЗ-7555 при автоматическом и командном режимах управления ГМТ. Приведены результаты стендовых и полевых испытаний гидромеханических передач со сложным движением звеньев.

Ключевые слова: сложное движение звеньев, гидромеханическая передача, диагностика, дефект, техническое состояние, фрикционные муфты.

Введение

Для карьерных самосвалов, строительно-дорожной и другой мобильной техники важно обеспечить высокую производительность выполнения транспортной работы, надежность эксплуатации, улучшить условия труда водителя или

оператора, обеспечить безаварийное функционирование всех механизмов и подсистем. Использование коробок передач (КП) с микропроцессорным управлением совместно с бортовыми системами и комплексами, в принципе, позволяет обеспечить эти требования [1].

Анализ опасных отказов передач со сложным движением звеньев

Наряду с преимуществами современных автоматизированных трансмиссий по сравнению с обычными неавтоматизированными трансмиссиями, при эксплуатации мобильных машин (ММ), оснащенных передачами со сложным движением звеньев, возникает ряд проблем. Так, коробки передач в составе гидромеханических трансмиссий (ГМТ), являясь сложным и самым дорогим по стоимости агрегатом ММ, имеют самый малый срок службы по сравнению с остальными устройствами, причем многие его детали, а именно, фрикционы переключения передач, в большой мере ограничивают надежность и долговечность.

При этом поломки этих элементов и их неисправности приводят к опасным отказам и аварийным ситуациям, вплоть до разрушения конструкции (рис. 1), что является большой проблемой для горно-обогатительных предприятий (ГОП), которые эксплуатируют эти машины. Фотография на рис. 1, сделанная одним из авторов в карьере автохозяйства «Гранит» (г. Микашевичи), демонстрирует результат воздействия на коробку передач неблагоприятных отказов. На данном рисунке представлен результат поломки диапазонного вала коробки передач вследствие одновременного включения 2-х передач из-за «спекания» фрикционных дисков передачи, которая должна была выключиться. Похожие дефекты «выводят из строя» трансмиссию на длительное время. Подобное разрушение картеров и корпусных единиц ГМТ не подлежит ремонту и приводит к большим материальным издержкам и финансовым затратам, что связано с полной заменой коробок передач.

Создать же одинаково прочную во всех местах конструкцию, которая бы, отработав определенный срок, «развалилась» и разрушилась бы одновременно, в принципе, невозможно. Если бы это было так, то можно было бы по истечении определенного пробега или срока службы полностью утилизировать машину, заменив ее на новую.

Существующие подходы к решению проблемы улучшения технического состояния ГМТ в процессе эксплуатации ММ и поддержания ее работоспособности эффективны мало. Это отчасти связано с неизбежностью исключения мобильных машин из рабочего цикла по причине из-за аварийных ситуаций и в связи с необходимостью проведения технических обслуживания и ремонтов, часто преждевременных и необоснованных ни технически, ни экономически [2].

Фрикционы переключения передач (ФПП) и фрикционы блокирования гидродинамического трансформатора (ФБГТ) в ГМТ ММ являются наименее долговечными изделиями, что подтверждают многочисленные случаи их отказов в процессе эксплуатации, к примеру, большегрузных автосамосвалов БелАЗ.

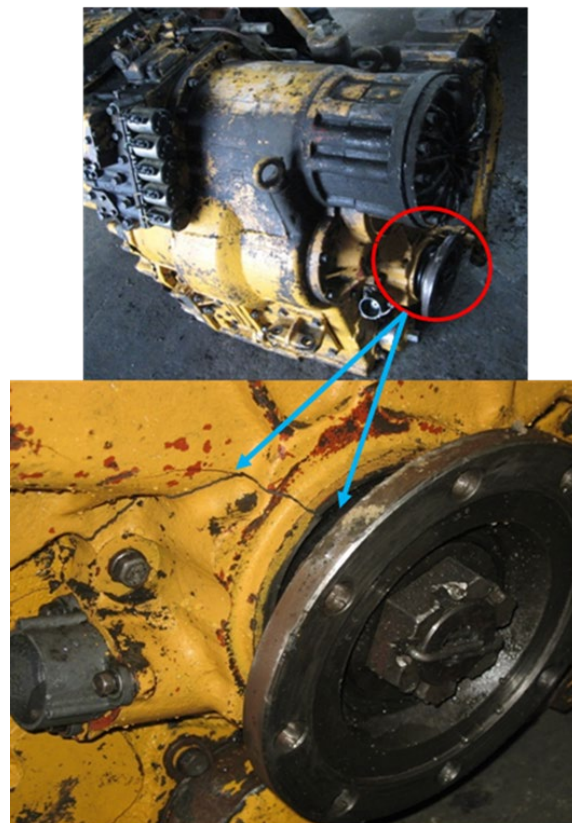


Рисунок 1 – Результат воздействия на коробку передач неблагоприятных отказов

Анализ эксплуатационной информации за 20 последних лет, проведенный в бюро надежности завода «БелАЗ», позволил выявить тот факт, что нередко эти элементы КП в ГМТ приходят в негодность раньше положенного регламентом времени. Это, естественно, создает большие проблемы в ГОП и эксплуатирующих автосамосвалы предприятиях и автохозяйствах. В связи с этим, длительность простоев увеличивается, а производительность резко снижается [3].

Частые поломки ФПП приводят к тому, что длительность работоспособного состояния машин-самосвалов исчисляется порой всего 4–6 месяцев. Это соответствует пробегу автосамосвала 40000–45000 километров. Конечно, нельзя сбрасывать со счетов сложные условия функционирования карьерных самосвалов, которые изобилуют всевозможными нештатными ситуациями. При этом значительные по величине постоянно действующие знакопеременные

параметры динамической и тепловой нагруженности «довершают» разрушение трансмиссионных узлов.

Следует отметить, что возникновению неисправностей при эксплуатации ММ зачастую предшествуют непредвиденные и внезапные обстоятельства. Кроме всего прочего, неисправности элементов ФБГТ и ФПП могут явиться следствием неправильной эксплуатации со стороны водителя или оператора ММ. Реже, но бывают и случаи технологических ошибок при выборе материала и изготовлении накладок и дисков фрикционных.

В процессе многолетних совместных исследований ученых БНТУ и БРУ была получена значительная база данных по дефектам коробок передач, а также получены верхние и нижние ПДЗ (предельно-допустимые значения) для ряда элементов ГМТ мобильной техники [4]. Полученные экспериментальным и расчетным путем массивы ПДЗ определяют пороговые данные, за пределами которых то или иное устройство ГМТ может быть повреждено.

Мониторинг опасных отказов на основе мехатронной системы автоматической диагностики гидромеханической трансмиссии

Современные средства обработки и анализа сигналов, «комбинаторный взрыв», нейрокибернетика и повсеместная цифровизация в автомобилестроении дали толчок к появлению перспективных систем управления и диагностики ММ [4–5]. Это привело к созданию гаммы интегрированных мехатронных систем диагностирования (ИМСД) мобильного применения [5]. По сути, ИМСД представляет собой универсальный бортовой комплекс электронных, электромеханических, электрогидравлических, компонентов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся энергоинформационный обмен, при этом он наделен элементами искусственного интеллекта.

Фактически, это произвело значительный технический прорыв в автомобильной сфере. Так, например, алгоритмы управления/диагностики стали гибко перенастраиваемыми и самоприспосабливающимися. Они приобрели способность принимать изменяющиеся новые условия и ситуации. При этом габариты и массы ИМСД заметно снизились. Также, данные отображаются на информационной панели водителя в режиме онлайн и незамедлительно архивируются, что открывает новые возможности для оперативного прогнозирования [6, 7].

На рис. 2 показана структура ИМСД ГМТ, выполненная в виде находящихся в функциональной связи блоков. Система создана по заказу ОКБ завода «БелАЗ» при участии КБ гидромеханических трансмиссий, которое долгое время возглавлял канд. техн. наук Региня В. В.

Разработанная ИМСД ГМТ была создана с целью проведения экспериментальных исследований [8].

На рис. 3 представлены фотографии стенда с гидромеханической трансмиссией, который расположен в опытно-экспериментальном цехе ОАО «БЕЛАЗ» – управляющей компании холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ». Данный стенд, обеспеченный необходимым оборудованием, датчиками, пультовой кабиной и контрольно-измерительной техникой, позволяет ставить эксперименты с автоматизированными гидромеханическими трансмиссиями. Для этого созданный на заводе опытный образец ИМСД ГМТ был размещен на данном стенде (см. рис. 3). В результате стендовых испытаний была произведена оценка характеристик и свойств ИМСД. Были также проверены качество функционирования и работоспособность объекта диагностики, т. е. автоматизированной коробки передач.



Рисунок 2 – Структура ИМСД ГМТ

На заводских площадках проводились также ходовые испытания карьерного автомобиля-самосвала, оборудованного ИМСД, в стабильных условиях воздействия внешних факторов [8–10]. Одной из задач, решаемых в процессе ходовых испытаний, было выявление закономерностей возникновения отказов в зависимости от наработки машины.



Рисунок 3 – Стенд и пультовая кабина в цехе ОАО «БелАЗ» для проведения экспериментальных исследований ГМТ с МСУД

Исследования передач со сложным движением элементов в процессе эксплуатационных испытаний

Для анализа эффективности функциональных свойств ММ, оценки ее надежности в отношении показателей безотказности и долговечности (ресурса), а также проверки эксплуатационной технологичности проводились ходовые (натурные) испытания карьерного автосамосвала. Методикой испытаний также предписывалось определение условий, при которых наступали отказы, поломки, неисправности, нарушения регулировок трансмиссионной части ММ. Дополнительно просчитывались такие параметры, как время и расходы на устранение отказов.

Трасса движения автомобиля-самосвала по заводскому полигону представляет собой утрамбованное щебеночное покрытие. Она имеет горизонтальный прямолинейный участок с поворотом на гору, подъемом в гору с переменным уклоном 6–7 % и спуском с горы с уклоном 11 %.

Порожний и груженный автомобиль-самосвал БелАЗ-7555 при испытаниях подвергался серии заездов на ручном (командном) и автоматическом режиме управления ГМТ. Процессы переключения передач осуществлялись с помощью фрикционных муфт (ФМ) по способу контроля обратной связи по относительной скорости вращения фрикционных дисков при их скольжении.

Непрерывность потока мощности при переключении ступеней обеспечивалась путем задержки выключения фрикциона предыдущей ступени (передачи), причем время этой задержки равнялась длительности этапа быстрого заполнения включаемой ФМ. В этот момент угловая скорость двигателя сбрасывалась на 200 об/мин. Команду на снижение (сброс) угловой скорости двигателя до заданной величины ИМСД ГМТ передает с помощью помехозащищенной CAN-шины с учетом данных о начале и окончании процесса снижения и величины этого сброса скорости.

Схема штатной гидравлической системы ГМТ БелАЗ-7555 дана в [8–9]. Обмен информационными данными между узлами реализуется посредством шины бортового контроллера связи CAN.

Сбор информационных сигналов выполняют встроенные датчики фирмы «Бош Рексрот». Совокупность основных сигналов от датчиков приведена в [9]. Датчики измеряли частоту вращения коленвала двигателя, турбинного колеса ГДТ, промежуточного и выходного валов КП, величины главного давления и давления в каналах фрикционных муфт и т. д. Выходные сигналы ИМСД направляла исполнительным механизмам: ФПП и ФБГТ.

Передача и обработка сигналов с датчиков моментов, давлений, частот вращения входного и выходного валов КП производилась с помощью коммуникационной системы на основе платформы FlexRay и с применением 16-ти канальной платы сбора данных «Орфей-II» (РФ).

Визуальное отображение результатов измерений и получение характеристик осуществлялось путем осциллографирования происходящих в гидромеханической передаче процессов.

Приведенная на рис. 4 осциллограмма иллюстрирует процесс автоматического переключения со второй на третью передачу (2→3). На рис. 4 показано «поведение» ряда параметров, несущих диагностическую информацию: вращающего момента фрикциона $M_{фр}$, давлений рабочей жидкости (масла) в питающих магистралях фрикционах второй и третьей передачи p_i , давления в главной магистрали $p_{гл}$, относительной скорости скольжения фрикционных дисков, силы тока на электромагнитных клапанах. Эти характеристики могут также служить источником мониторинговой проверки работоспособности системы при проведении контрольных (тестовых) заездов для оценки технического состояния ГМТ.

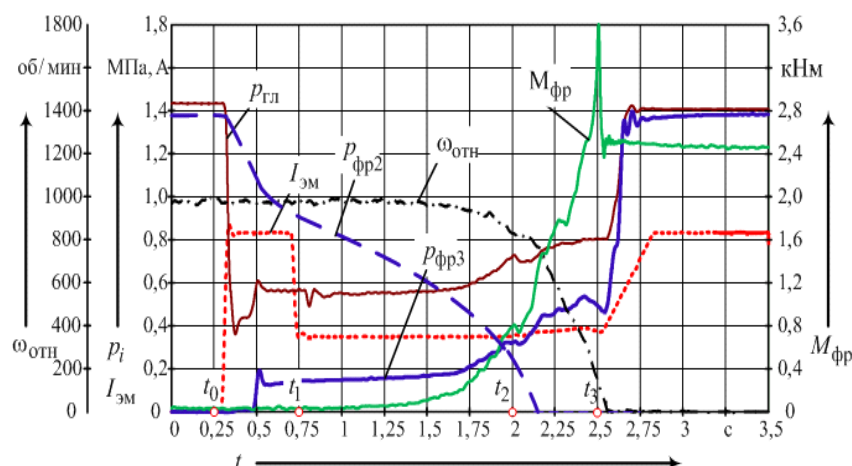


Рисунок 4 – Изменения параметров оценки технического состояния фрикционов коробки передач при автоматическом переключении 2→3

Результаты анализа характеристик переходных процессов в ГМТ на режиме КП «автомат» дает значимую информацию о техническом состоянии основных механизмов и устройств. Особенно важно это оценки состояния ФД. При замыкании ФД относительная угловая скорость вращения дисков равна нулю. Из рис. 4 видно, что с момента времени t_1 до момента времени t_2 происходит медленное заполнение рабочей жидкостью гидроцилиндра фрикциона третьей передачи, а начиная с момента времени t_3 происходит буксование (скольжение) замыкаемых дисков, и давление $p_{фр3}$ резко возрастает. В этот же момент времени t_3 происходит «всплеск» (скачок) момента $M_{фр}$, и далее фиксируется амплитуда первого всплеска давления $p_{фр3}$ во включаемом фрикционе 3-й ступени КП. Эти всплески момента и давления совместно с длительностью $t_{зап}$ заполнения гидроцилиндра фрикциона используется в разработанном Рынкевичем С.А. *методе оперативного диагностирования* технического состояния фрикционных дисков [9].

Наиболее важные результаты экспериментальных исследований ИМСД ГМТ приводятся в [3, 7–10].

Выводы

На основе анализа причин возникновения опасных дефектов в передачах со сложным движением звеньев установлено, что добиться высокого уровня работоспособности мобильных машин возможно на основе всестороннего и своевременного предупреждения отказов и неисправностей еще до момента их зарождения с применением прогрессивных методов диагностирования в режиме реального времени. С использованием новых методов получения, анализа и преобразования информации разработана и испытана мехатронная система управления и диагностирования гидромеханической трансмиссии для карьерного автосамосвала.

Литература

1. Скойбеда, А. Т. Гидромеханические передачи мобильных машин. Проектирование и диагностика / А. Т. Скойбеда, С. А. Рынкевич. – Могилев : УПКП «Могилев. обл. укр. типогр. им. С. Соболя», 2014. – 230 с.
2. Рынкевич, С. А. Концептуальные основы диагностики гидрофицированных трансмиссий карьерной техники / С. А. Рынкевич // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. Сборник трудов. – Тюмень. – 2018. – С. 237–241.
3. Рынкевич, С. А. Автоматизация диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий / С. А. Рынкевич // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов: в 2-х томах / Белорусский национальный технический университет; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 46–50.
4. Рынкевич, С. А. Управление и диагностирование гидрофицированных трансмиссий: состояние проблемы и перспективы развития / С. А. Рынкевич // Сб. науч. статей «Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии»: Минск – БНТУ. – 2021. – С. 77–88.
5. Рынкевич, С. А. Активный мониторинг сложных элементов гидромеханических передач мобильных машин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2024. – № 1. – С. 72–79.
6. Рынкевич, С. А. Классификация дефектов передач мобильных машин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2024. – № 2. – С. 19–24.
7. Рынкевич, С. А. Механические и гидромеханические передачи: анализ работоспособ-

ности и отказы / С. А. Рынкевич // Актуальные проблемы транспорта и логистики. Сборник научных трудов БелГУТ. – 2023. – С. 137–142.

8. Рынкевич, С. А. Система бортового диагностирования и мониторинга гидромеханической передачи автосамосвала / С. А. Рынкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 4 (81). – С. 53–60.

9. Рынкевич, С. А. Экспериментальные исследования физических свойств гидропривода

мобильной машины / С. А. Рынкевич, И. Ю. Хадкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – №4 (45). – С. 56–67.

10. Рынкевич, С. А. Проектирование, эксплуатация и диагностика мобильных машин / С. А. Рынкевич, В. В. Кутузов. – Могилев : Белорус.-Росс. ун-т, 2016. – 223 с.

UDK 629.3

RYNKEVISH S., Doctor of technical Sciences, Ass. Prof.,
Ass. Prof.¹

E-mail: rynkev@tut.by

SONICH O. A., Master,
Head of the Scientific Research Laboratory of Vehicles²
E-mail: oleson@tut.by

¹Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 04 September 2024

FAILURE ANALYSIS AND TESTING OF TRANSMISSIONS WITH COMPLEX LINK MOVEMENT

The article considers the issues of studying failures in hydromechanical transmissions, in which links perform complex movements. It is noted that gearboxes in hydromechanical transmissions (HMT), being the most expensive mechanisms of motor vehicles and other mobile machines, have the shortest service life among other units, and many elements and couplings of HMT, in particular, gear shift frictions, greatly limit reliability and durability. An analysis of the causes of dangerous defects in transmissions with complex movement of links is carried out. The design of the mechatronic control system of the hydromechanical transmission is proposed as an effective means of diagnostics and failure monitoring. It is noted that the increase in the reliability of operation and the increase in the service life of mobile machines equipped with the HMT, as well as the trouble-free operation of the clutches of the gearboxes are ensured by complex active diagnostics of their technical condition based on the use of microprocessor-based on-board systems. During the running tests, the modes of starting and acceleration of the empty and loaded dump truck BelAZ-7555 were studied with automatic and command control modes of the HMT. The results of bench and field tests of hydromechanical transmissions with complex movement of links are presented.

Keywords: gear, complex movement of links, hydromechanical transmission, diagnostics, defect, technical condition, friction clutches.

References

1. Skoybeda, A. T. Hydromechanical transmission of mobile machines. Projection and diagnosis / A. T. Skoybeda, S. A. Rynkevich. – Mogilev :

Mogilev enlarged regional printing house named after S. Sobol, 2014. – 230 p.

2. Rynkevich, S. A. Conceptual basis of diagnostics of hydroficated transmissions of quarry

equipment / S. A. Rynkevych // Land transport and technological complexes and means. Materials of the international scientific and technical conference. Collection of works. – Tyumen. – 2018. – P. 237–241.

3. Rynkevich, S. A. Automatic diagnosis of mechanical and hydromechanical transmissions / S. A. Rynkevych // Avtotractorostroenie and avtomobilny transport: collection of scientific works in 2 volumes / Belarusian National Technical University; editor: op. ed. D. V. Kapsky [et al.]. – Minsk: BNTU, 2020. – Vol. 1. – P. 46–50.

4. Rynkevich, S. A. Management and diagnosis of hydrofic transmissions: state of problems and development prospects / S. A. Rynkevich // Sat. science articles «Transport and transport systems: construction, operation, technology»: Minsk. – BNTU. – 2021. – P. 77–88.

5. Rynkevich, S. A. Active monitoring of complex elements of hydromechanical transmissions of mobile machines / C. A. Rynkevich // Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science. – 2024. – №1. – P. 72–79.

6. Rynkevich, S. A. Classification of defects in transmissions of mobile machines / C. A. Ryn-

kevich // Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science. – 2024. – № 2. – P. 19–24.

7. Rynkevich, S. A. Mechanical and hydromechanical transmissions: performance analysis and failures / C. A. Rynkevich // Current problems of transport and logistics. Collection of scientific works of BelsUT. – 2023. – P. 137–142.

8. Rynkevich, S. A. System of on-board diagnostic and monitoring of the hydro-mechanical transmission of a truck / S. A. Rynkevich // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2023. – № 3 (81). – P. 53–60.

9. Rynkevich, S. A. Experimental studies of physical properties of the hydraulic motor of the mobile machine / S. A. Rynkevich, I. U. Khadkevich // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2015. – № 4 (45). – P. 56–67.

10. Rynkevich, S. A. Projection, exploitation and diagnostics of mobile machines / C. A. Rynkevich, V. V. Kutuzov. – Mogilev : Belarusian-Russian University, 2016. – 223 p.

СЕМЧЕНКОВ С. С., канд. техн. наук,
ст. преп. кафедры «Транспортные системы и технологии»¹
E-mail: semtschenkow@gmail.com

КОРОЛЬЧУК М. А., магистр,
пер. заместитель директора, гл. инж.²
E-mail: 375298635239@yandex.by

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн. наук, проф.,
проф. кафедры «Транспортные системы и технологии»^{1,3}
заместитель Председателя ВАК^{1,3}
E-mail: d.kapsky@gmail.com

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Ф-л «Трамвайный парк» ГП «Минсктранс», Минск, Республика Беларусь

³Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 04.10.2024

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ПУТЕМ РЕОРГАНИЗАЦИИ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ТРАМВАЯ В Г. МИНСКЕ

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности работы системы рельсового городского пассажирского транспорта на сформированной маршрутной сети, маршруты которой устоялись и трассы неизменны уже много лет. Проведённые авторами исследования позволили выявить проблемные вопросы таких рельсовых систем, сформировать новый подход к выбору подвижного состава и обслуживанию маршрутной сети, на основе которого сформированы предложения и разработан план действий для г. Минска, определена экономическая эффективность предложенных решений. На примере транспортной системы города Минска, с учетом необходимости повышения ее экологичности, а также комфортности и безопасности перевозок, выполнена оценка потенциала рельсового пассажирского транспорта, который предназначен для перевозки больших объемов пассажиров, а также его технического состояния и соответствия современным требованиям надёжности, экономичности и эффективности. Разработана стратегия применения трамваев, разработки технических требований и технического задания на их производство. Выполнена оценка эффективности реализации нового подхода по обслуживанию маршрутной сети трамвая в крупнейшем городе – столице нашей страны. Представленные материалы могут быть полезны широкому кругу читателей, а также специалистам, ведущим исследования и практические разработки в области рельсовых транспортных систем.

Ключевые слова: электрический маршрутный пассажирский транспорт, трамвай, организация движения, рельсовый путь, сочлененные трамваи, эффективность трамвая.

Введение

Маршрутная сеть трамвая г. Минска сформирована, устоялась и неизменна уже много лет. Она представлена двумя линиями, по которым организована работа восьми маршрутов. В качестве подвижного состава используются однотипные трамваи модели АКСМ-60102 (односекционные, трехдверные, длина 15 м, пас-

сажировместимость 121 пасс., работа в составе поездов не предусмотрена конструкцией). Пиковая интенсивность движения трамваев в 08:00 по рабочим дням составляет 34 пар/час на линии в Серебрянку, 35 пар/час на линии в Зеленый Луг и 48 пар/час на участке «пл. Змитрока Бядули–ул. Красная». Пропускная способность линий и отдельных ее узлов

исчерпана, а провозная способность линии ограничена вместимостью применяемого подвижного состава. В то время, когда трамвай, как вид транспорта, ориентирован на перевозку больших объемов пассажиров, исследование показывает, что движение в отдельные дни останавливается на время до 1 ч, что приводит к снижению уровня обслуживания, колоссальным имиджевым и финансовым потерям рельсовой пассажирской системы, дальнейшему оттоку пассажиров. Трамвайная сеть, являясь частью рельсовой пассажирской системой, рассчитана на перевозку большого числа пассажиров (освоения высоких пассажиропотоков), и эффективна тогда, когда перевозит большие объемы пассажиров. С падением пассажиропотоков падает эффективность функционирования трамвайной сети, а любой вид маршрутного пассажирского транспорта популярен и пользуется спросом у пассажиров только тогда, когда является надежным, бесперебойным, быстрым и комфортным. В связи с чем актуальным является реорганизация маршрутов движения и режимов их работы, выбор подвижного состава на разработанных маршрутах и разработка нового подхода к обслуживанию маршрутной сети трамвая в г. Минске, который будет представлен далее. Актуальность работы подчеркивается тем, что для повышения мобильности в городах в соответствии с экологическими целями в городском движении трамвай становится все более важным видом транспорта. Более того, вопросы совершенствования работы городской наземной рельсовой пассажирской системы (трамвая) важны не только для г. Минска, но и для других городов страны.

Анализ состояния вопроса

Рельсовые наземные пассажирские системы Беларуси имеют большую 126-летнюю историю, которая берет свое начало в 1898 г. с открытия трамвайного движения в г. Витебске. Затем в 1929 г. трамвайное движение было открыто в г. Минске, в 1974 г. – в г. Новополоцке и в 1988 г. – в г. Мозыре. Примечательно, что Беларусь имеет опыт не только эксплуатации, но и производства электрических рельсовых пассажирских транспортных средств, которое организовано на двух предприятиях страны. Однако сложившаяся ситуация вокруг рельсовой системы г. Минска показала некоторые проблемы надежности и эффективности [1].

Также стоит отметить, что еще в 2012 году трамваем в Минске перевозилось более 40 млн пассажиров, на сегодняшний день число перевозимых пассажиров сократилось почти в двое.

Кроме роста автомобилизации, на уменьшение объемов перевозок пассажиров трамваями влияют следующие факторы: снижение скорости сообщения на трамвайных линиях; снижение надежности сообщения на трамвайных линиях, большое количество задержек движения длительность их ликвидации; недостаточный уровень комфортабельности поездок в сравнении с другими видами наземного транспорта (в первую очередь высокий уровень пола); недостаточный уровень интеграции с другими видами транспорта внутри общей системы городского пассажирского транспорта; длительные закрытия трамвайных линий (на ремонты и т. п.) с заменой трамвайного движения временными автобусными маршрутами, отлучающими пассажиров от трамвая как вида транспорта.

Статистические данные показывают, что эксплуатационная скорость трамвая за декабрь 2023 г. составила 14,70 км/ч. В 2023 г. с участием трамваев произошло ~120 дорожно-транспортных происшествий (по вине водителей постороннего транспорта более 90), в т. ч. 6 учетных (по вине водителей трамвая учетных ДТП нет).

По состоянию на 01.06.2024 г. в г. Минске эксплуатируется 128 трамвайных вагонов, в том числе 122 односекционных трамвая АКСМ-60102, 1 сочлененный АКСМ-743, 5 сочлененных АКСМ-843. Все трамваи изготовлены на заводе «Белкоммунмаш» в г. Минске. Трамвай АКСМ-60102 длиной 15 м имеют номинальную пассажироместимость 121 человек (из расчета размещения пассажиров, которые едут стоя, с плотностью 5 пасс/м.кв.). Уровень пола – высокий, количество дверей – три. Заводом-изготовителем не предусмотрена возможность эксплуатации таких трамваев в составе поездов из двух и более вагонов. Трамвай АКСМ-743 длиной 26 м имеет номинальную пассажироместимость 184 человека, изготовлен в 2001 г. в единственном экземпляре. Уровень пола – низкий, количество дверей – четыре двусторонних + одна уменьшенной ширины. Трамвай АКСМ-843 длиной 26 м имеют номинальную пассажироместимость 176 человек, изготовлены в 2009–2012 гг. Уровень пола – низкий, расположение дверей – двустороннее, количество дверей с каждой стороны – три. Трамваи имеют две кабины водителя для возможности работы на участках без разворотных колец. Имеющийся в г. Минске подвижной состав устарел морально и физически (86 % трамвайных вагонов полностью выработало свой ресурс), необходимо обновление парка новым современным

подвижным составом, отвечающим требованиям надежности, экономичности и эффективности. Необходим выбор стратегии применения транспортных средств, разработка технических требований и технического задания на их производство.

Трамвайная система Минска электрифицирована постоянным током напряжением 550 В

на токоприемнике и 600 В на шинах подстанции. Электроснабжение централизованное, большинство тяговых подстанций совмещено с троллейбусными. Для рельсового пути принята ширина колеи 1524 мм [2, 3].

На рис. 1 приведена схема маршрутной сети трамвая г. Минска.

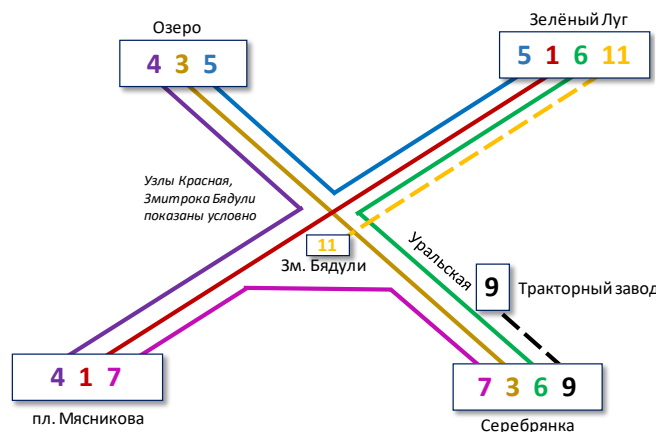


Рисунок 1 – Схема маршрутной сети трамвая г. Минска

В табл. 1 представлены сведения о выпуске подвижного состава на линию по рабочим дням. Стоит обратить внимание на то, что 5 маршрутов (№ 1, 3, 4, 5, 6) работают по всем дням недели, один маршрут (№ 7) работает с понедельника по пятницу и два маршрута (№ 9, 11) работают с понедельника по пятницу в часы «пик».

Таблица 1 – Выпуск подвижного состава на линию по рабочим дням, ед.

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
1	12+1*	9	12+1*	10	5
3	22	8	20	11	7
4	5	4	5	4	3
5	5	4	5	5	3
6	24	18	22	17	8
7	7	7	7	7	5
9	4		4		
11	7+2*		4+2*		
Итого	86+3*=89	50	79+3*=82	54	31

* Трамвай АКСМ-843 (сочлененный, 26 м)

Основные характеристики интенсивности движения на участках существующей маршрутной сети сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Интенсивность движения, пар/час

Линия	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
Серебрянка	34	18	32	19	11
Уральская	29	18	27	19	11
Мясникова	17	13	17	14	9
Зелёный Луг	35	18	31	19	10
Озеро	20	10	19	13	8

Сведения об интервалах движения на маршрутах представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Интервалы движения трамваев на маршрутах, мин.

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
1	7	10	7	9	18
3	5	14	5	10	15
4	16	20	16	20	27
5	16	20	16	16	27
6	5	7	5	7	15
7	14	14	14	14	20
9	11	–	11	–	–
11	6	–	9	–	–

Существующие интервалы на маршрутах, проходящих по одинаковым участкам линий, значительно различаются (так, интервалы маршрутов в Зеленом Луге: 5, 6, 7, 16 мин., в Серебрянке: 5, 11, 14 мин.). Из-за большого разнообразия маршрутных интервалов в составленных расписаниях постоянно присутствует «Эффект Нониуса» (эффект неравномерного отправления трамваев разных маршрутов, следующих по одной линии). Эффект выражается в том, что трамваи различных маршрутов с некрatными интервалами следуют «пачками» с интервалом 1 мин., после чего возникает ~10-минутный «провал» и т. д. [4, 5].

Формирование нового подхода к обслуживанию маршрутной сети

Исследование работы трамвайной системы г. Минска позволило классифицировать маршруты по функциональному назначению и выде-

лить среди них основные, вспомогательные и дополнительные. Так, маршруты № 1, 3, 6 следует отнести к основным, образующим ядро маршрутной сети, маршрутам, осуществляющим устойчивые связи по наиболее напряженным направлениям. Маршруты № 4, 5, 7 являются вспомогательными и поддерживают беспересадочные связи между отдельными районами города. Маршруты № 9, 11 являются дополнительными и предназначены для усиления отдельных линий в пиковое время в наиболее пассажиронапряженные сезоны года. Реализация нового подхода предполагает выбор для использования двух типоразмеров подвижного состава и четкое разделение маршрутов по типу эксплуатируемого подвижного состава [6]. Выбор типоразмеров подвижного состава основан на исследовании различных компоновок подвижного состава, их технических особенностей и основных эксплуатационных характеристик. Так, проведенные исследования позволили выбрать для использования в г. Минске одиночные и сочлененные трамваи.

Необходимо признать, что полностью низкопольные трамваи длиной $15,5 \pm 1,0$ м не получили широкого распространения в мировой практике. На сегодняшний день производство таких трамваев сконцентрировано на территории стран СНГ. Стоит отметить, что интересные решения реализованы фирмами Pragoimex (Чехия) и Modertrans (Польша), однако эти трамваи не были запущены в массовое производство в связи с отсутствием спроса на оди-

ночные трамвайные вагоны в связи с высокой востребованностью сочлененного подвижного состава. Все компоновки вагонов данного типа аналогичны, кузов опирается на две моторные поворотные тележки. Принципиальное различие состоит только в типе применяемой тележки и расположении на ней элементов тяговой передачи:

– УКВЗ, УВЗ, Белкоммунмаш – внешнее расположение редуктора, который увеличивает боковой габарит тележки и предъявляет повышенные требования к обустройству и содержанию рельсового пути, в то же время в салоне нет выступов, обеспечивается постоянная ширина прохода;

– ПКТС, Pragoimex, Modertrans – внутреннее расположение редуктора, в салоне есть выступы для редуктора, что несколько уменьшает ширину прохода между сиденьями по левому и правому бортам.

На рис. 2 представлена компоновка одиночного трамвайного вагона, выполненного в одностороннем исполнении, имеющего четыре двери (две двустворчатые и две одностворчатые), большие накопительные площадки напротив дверей. Выбранная компоновка соответствует полностью низкопольному вагону на двухмоторных тележках. Компоновка вагона соответствует классической для одиночного вагона, обеспечивает должные условия вписывания вагона в кривые при полном использовании сцепного веса.

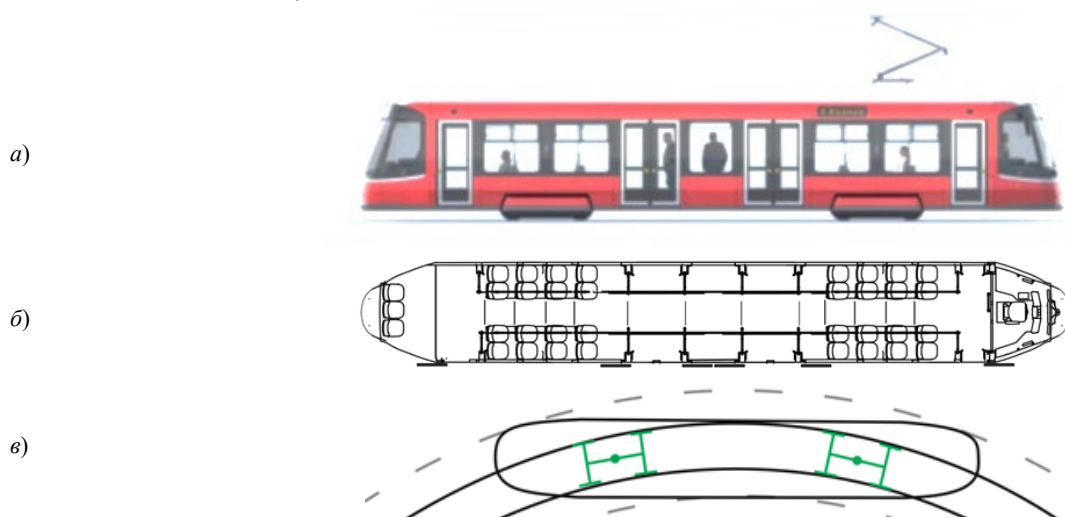


Рисунок 2 – Компоновка сочлененного трамвайного вагона:

a – внешний вид трамвайного вагона; *б* – планировка салона; *в* – вписывание в кривые

Среди сочлененных трамваев следует выделить компоновки низкопольных вагонов с поворотными тележками вне узлов сочленения, с поворотными тележками и тележками под узлами сочленения, вагоны с поворотными те-

лежками и средней секцией на неповоротной тележке, низкопольные сочлененные вагоны на неповоротных тележках, комбинированные решения (крайние тележки поворотные, внутренние неповоротные) и бестележечные реше-

ния. Наибольший интерес представляет компоновка, которая обладает наибольшей удельной вместимостью из расчета на 1 м длины вагона, имеет наибольший коэффициент вместимости по отношению к базовой модели, имеет коэффициент длины, «гармонично» пропорциональный коэффициенту вместимости. Выбор компоновки для г. Минска, был проведен на основе данных критериев.

На рис. 3 представлена компоновка сочлененного трамвайного вагона, выполненного

в одностороннем исполнении, имеющего пять двухстворчатых дверей, большие накопительные площадки напротив каждой двери. Выбранная компоновка соответствует полностью низкопольному вагону на четырех моторных тележках, обеспечивающих полное использование сцепного веса вагона. Компоновка вагона и наличие четырех поворотных тележек обеспечивают рациональные параметры вписывания вагона в кривые.

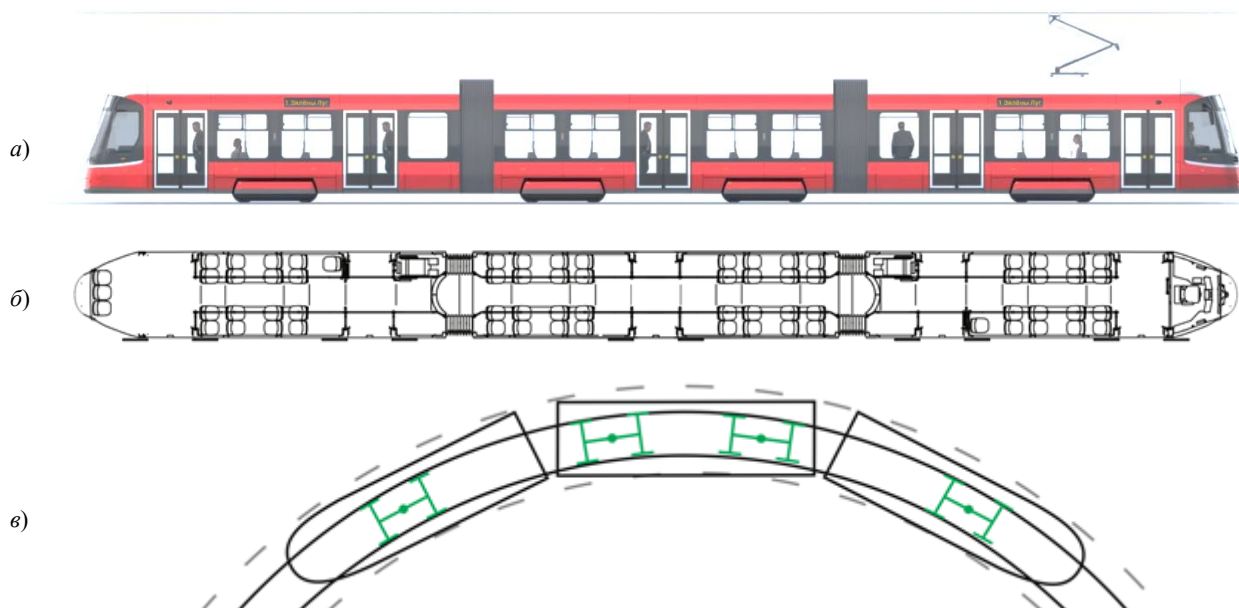


Рисунок 3 – Компоновка сочлененного трамвайного вагона:
а – внешний вид трамвайного вагона; б – планировка салона; в – вписывание в кривые

По своей сути сочлененный трамвайный вагон выбранной компоновки за счет применения поворотных тележек и их взаимного расположения (принцип формирования данного вагона

представлен на рис. 4) обеспечивает рациональное безударное вписывание вагона в кривые малого радиуса.

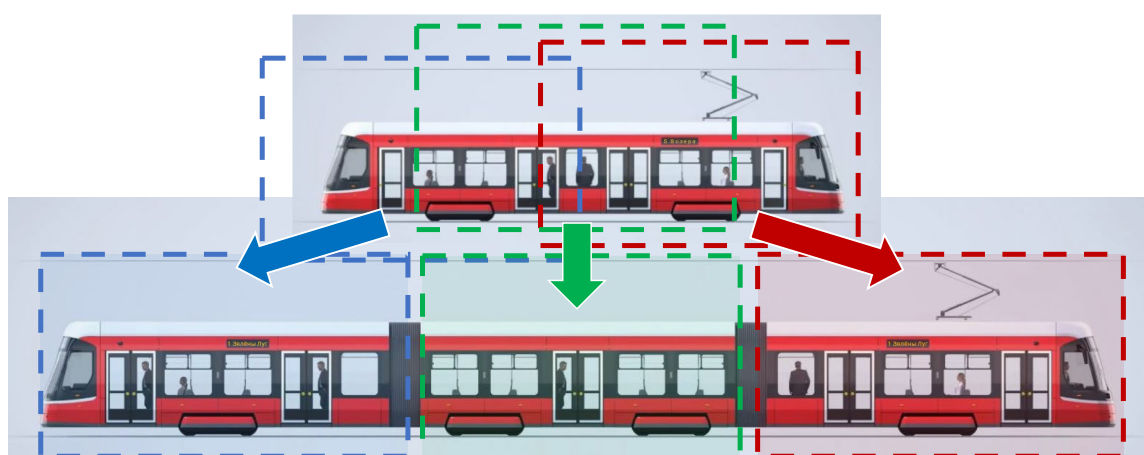


Рисунок 4 – Принцип формирования сочлененного трамвайного вагона

Четкое разделение маршрутов по типу эксплуатируемого подвижного состава состоит в том, что сочлененные трамваи (длина 33,5 м, вместимость 260 пасс.) используются только

для маршрутов № 1, 3, 6, а одиночные трамваи (длина 16,5 м, вместимость 112 пасс.) используются только для маршрутов № 4, 5, 7, 9, 11.

Маршруты № 1, 3, 6 являются наиболее нагруженными, обслуживаются исключительно сочлененными трамваями, являются «основными» и образуют ядро маршрутной сети [7]. Предложенный подход к обслуживанию маршрутной сети обеспечивает равный «сетевой» интервал на участках линии и равномерную наполняемость вагонов. На рис. 4 представлена схема основных маршрутов, обслуживаемых сочлененным подвижным составом, с интервалами движения на них. В соответствии с предлагаемой схемой составлено расписание движения. В табл. 4 представлены данные о выпуске сочлененных трамваев на линию по характерным периодам суток, в табл. 5 приведены интервалы движения сочлененных трамваев, а на рис. 5 представлен фрагмент составленного расписания.

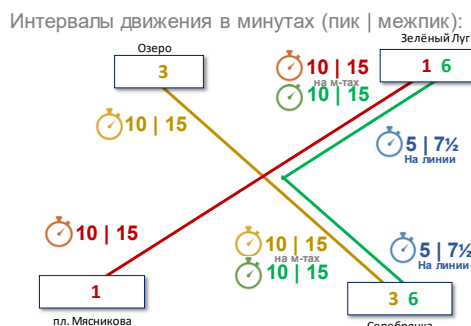


Рисунок 4 – Схема основных маршрутов, обслуживаемых исключительно сочлененным подвижным составом на протяжении всего дня

Таблица 4 – Выпуск сочлененных трамваев на линию по рабочим дням

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
1	9	6	9	6	5
3	11	7	11	7	6
6	12	8	12	8	6
Итого	32	21	32	21	17

Таблица 5 – Интервалы движения сочлененных трамваев по рабочим дням

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
1	10	15	10	15	20
3	10	15	10	15	20
6	10	15	10	15	20

При коэффициенте выпуска 0,79 необходимо 40 сочлененных вагонов вместимостью 260 пасс.

№ 1 со ст. Зелёный Луг	№ 6 со ст. Зелёный Луг
07:00 10:20 30:40 50	07:05 15:25 35:45 55
08:00 10:20 30:40 50	08:05 15:25 35:45 55
09:00 15:30 45	09:08 23:38 53
10:00 15:30 45	10:08 23:38 53
11:00 15:30 45	11:08 23:38 53

Рисунок 5 – Фрагмент расписания (время отправления по минутам)

Маршруты № 4, 5, 7, 9, 11 обслуживаются исключительно одиночными трамваями. Маршруты № 4, 5, 7 носят вспомогательный характер по отношению к «основным», обслуживаемым сочлененными трамваями. Маршруты № 9, 11 дополнительно усиливают линии в пиковое время в осенне-зимний период.

На рис. 6 представлена схема вспомогательных и дополнительных маршрутов, обслуживаемых одиночным подвижным составом (с указанием интервалов движения на вспомогательных маршрутах). В соответствии с предлагаемой схемой также составлено расписание движения.

Интервалы движения в минутах (пик | межпик):

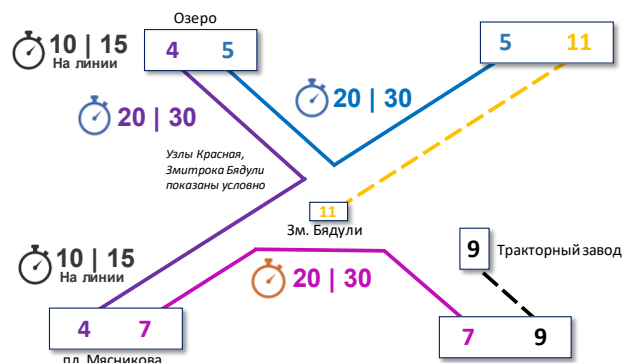


Рисунок 6 – Схема вспомогательных и дополнительных маршрутов, обслуживаемых исключительно одиночным подвижным составом

В табл. 6 представлены данные о выпуске одиночных трамваев на линию по характерным периодам суток, а в табл. 7 приведены интервалы движения одиночных трамваев.

Таблица 6 – Выпуск одиночных трамваев на линию по рабочим дням

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
4	4	3	4	3	2
5	4	3	4	3	2
7	5	4	5	4	3
9	4		2		
11	6		4		
Итого	23	10	19	10	7

При коэффициенте выпуска 0,79 необходимо 30 одиночных вагонов вместимостью 112 пасс. Таким образом, для обслуживания маршрутной сети понадобится 70 вагонов.

Таблица 7 – Интервалы движения одиночных трамваев по рабочим дням

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
4	20	30	20	30	40
5	20	30	20	30	40
7	20	30	20	30	40
9	10		20		
11	10		15		

Оценка основных параметров предложенного варианта

Для оценки основных параметров определена приведенная интенсивность движения трамваев по участкам линий. Интенсивность движения приведена по вместимости к трамваю АКСМ-60102 (для возможности корректного сравнения существующего и проектируемого решений) и сведена в табл. 8.

Как видно из таблицы, приведенная к вместимости трамвая АКСМ-60102 интенсивность движения по линиям в случае применения но-

вого подхода с рациональным использованием сочлененных трамваев эквивалентна. Объем выполняемой транспортной работы неизменен. Но для выполнения этого объема работы необходимо меньшее количество трамваев и меньшее число водителей, пробег подвижного состава сокращается на 44 %.

Абсолютная интенсивность движения подвижного состава приведена в табл. 9.

Таблица 8 – Приведенная интенсивность движения, пар/час

Линия	Существующая маршрутная сеть				Предложенная маршрутная сеть			
	08:00	13:00	18:00	21:00	08:00	13:00	18:00	21:00
Серебрянка	34	18	32	19	34	19	31	19
Уральская	29	18	27	19	29	19	29	19
Мясникова	17	13	17	14	18	13	18	13
Зеленый Луг	35	18	31	19	34	19	32	19
Озеро	20	10	19	13	19	13	19	13

Таблица 9 – Абсолютная интенсивность движения, пар/час

Линия	Существующая маршрутная сеть				Предложенная маршрутная сеть			
	08:00	13:00	18:00	21:00	08:00	13:00	18:00	21:00
Серебрянка	34	18	32	19	20	10	18	10
Уральская	29	18	27	19	15	10	15	10
Мясникова	17	13	17	14	12	9	12	9
Зеленый Луг	35	18	31	19	21	10	19	10
Озеро	20	10	19	13	12	8	12	8

Таблица 10 – Выпуск подвижного состава на линию по рабочим дням, ед.

Маршрут №	08:00	13:00	18:00	21:00	23:00
Сочлененные трамваи					
1	9	6	9	6	5
3	11	7	11	7	6
6	12	8	12	8	6
Итого (сочлененные)	32	21	32	21	17
Одиночные трамваи					
4	4	3	4	3	2
5	4	3	4	3	2
7	5	4	5	4	3
9	4		2		
11	6		4		
Итого (одиночные)	23	10	19	10	7
Всего	55	31	51	31	24
В сравнении с существующим вариантом	-34	-19	-31	-23	-7

Благодаря осознанному применению сочлененных трамваев абсолютная интенсивность движения снижается (до 42 % по наиболее пассажиронапряженным линиям), что создает бла-

гоприятные условия для: создания равномерной нагрузки на подвижной состав; снижения нагрузки на улично-дорожную сеть; организации приоритетного движения трамваев; повышения безопасности их движения (прогнозируется снижение количества ДТП на 44 %).

Оценка экономической эффективности проведена в сравнительном анализе двух сценариев обновления подвижного состава: сценарий 1 предполагает обновление парка подвижного состава одиночными трамваями без изменения подхода к обслуживанию маршрутной сети, сценарий 2 отражает предлагаемый новый подход, основанный на использовании двух типоразмеров подвижного состава и четком маршрутов на сформированной маршрутной сети трамвая на основные, обслуживаемые исключительно сочлененным подвижным составом, вспомогательные, обслуживаемые исключительно одиночным подвижным составом и дополнительные, обслуживаемые также одиночным подвижным составом [8]. Сведения о необходимом количестве подвижного состава по сравниваемым сценариям приведены в табл. 11.

Таблица 11 – Сведения о необходимом количестве нового подвижного состава

Наименование показателя	Сценарий 1 «Обновление одиночными трамваями», ед.	Предлагаемый сценарий 2 «Новый подход», ед.	Сравнение сценариев, ед.	%
Необходимое количество подвижного состава	123	70	-53	-43%
в т.ч. одиночного	123	30	-93	–
сочлененного	–	40	40	–

Оценка экономической эффективности предлагаемых решений построена также на сравнении двух сценариев и сопоставлении капиталовложений в приобретение нового подвижного состава, а также на сравнение

наиболее значимых статей эксплуатационных затрат на расчетный срок эксплуатации новых вагонов, определенный для расчетов в 20 лет [9, 10].

Таблица 12 – Оценка экономической эффективности предлагаемых решений

Наименование показателя	Сценарий 1 «Обновление одиночными трамваями», ед.	Предлагаемый сценарий 2 «Новый подход», ед.	Сравнение сценариев, бел. руб.	%
Стоимость подвижного состава	467 400 000	350 000 000	-117 400 000	-25%
в т.ч. одиночного	467 400 000	114 000 000	-353 400 000	–
сочлененного	0	236 000 000	236 000 000	–
Эксплуатационные затраты* в текущих ценах и ставках** (из расчета срока эксплуатации вагонов 20 лет):	294 656 142	177 047 989	-117 608 153	-40%
в т.ч. на электроэнергию	86 225 460	60 628 453	-25 597 007	-30%
на заработную плату водителей (с отчислениями в ФСЗН)	200 377 309	112 231 305	-88 146 004	-44%
на заработную плату сотрудников отдела перевозок (с отчислениями в ФСЗН)	5 365 440	2 682 720	-2 682 720	-50%
на подготовку водителей	2 687 933	1 505 511	-1 182 422	-44%
Итого:	762 056 142	527 047 989	-235 008 153	-31%

* при определении эксплуатационных затрат не производились расчеты по снижению затрат от уменьшения объема ТО и Р сочлененного подвижного состава

** без учета инфляции и запланированного роста реальной заработной платы

Заключение

Республика Беларусь имеет более чем 125-летнюю историю эксплуатации рельсовых пассажирских систем, представленных в 4-х городах страны (Витебске, Минске, Новополоцке, Мозыре). Рельсовые системы имеют большой потенциал, предназначены для перевозки больших объемов пассажиров. Имеющиеся на сегодня трамваи в г. Минске устарели морально и физически (86 % трамвайных вагонов полностью выработало свой ресурс), необходимо обновление парка новыми современными трамваями, отвечающими требованиям надежности, экономичности и эффективности. Данные факторы обусловили необходимость выбора стратегии применения трамваев, разработки технических требований и технического задания на их производство. Реализация нового подхода к обслуживанию маршрутной сети трамвая позволит:

1. Выполнять нужный объем транспортной работы меньшим количеством подвижного состава.

2. Сократить пробег подвижного состава на 40 %.

3. Снизить интенсивность движения на наиболее напряженных линиях на 42 %.

4. Повысить безопасность движения, снизить количество ДТП на 44 %.

5. Четко разделить маршруты по типу эксплуатируемого подвижного состава.

6. Установить удобные для пассажиров равные и кратные интервалы движения.

7. Создать благоприятные условия для организации приоритетного движения трамваев.

8. Снизить расходы на приобретение подвижного состава на 117 400 000 BYN (-25 %).

9. Снизить эксплуатационные затраты (в расчете на 20-летний срок) на 117 608 153 BYN (-40 %).

10. Суммарная экономия при применении нового подхода составит 235 008 153 BYN (-31 %).

Литература

1. Маршрутный транспорт городов Полоцка и Новополоцка: эффективность и тенденции развития / Д. В. Капский [и др.] – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 308 с.

2. Правила технической эксплуатации трамвая : утверждены приказом Министра жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 03.09.1996 № 101. – Минск : Белинкоммаш, 1996. – 100 с.

3. СН 3.03.02–2019. Трамвайные и троллейбусные линии : издание официальное : дата введения 2019-12-16. – Минск : Стройтехнорм, 2020. – IV. – 57 с.

4. Планирование устойчивой городской мобильности : монография / И. Н. Пугачев [и др.]. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2023. – 147 с.

5. Капский, Д. В. Организация дорожного движения с учетом электрического маршрутного пассажирского транспорта / Д. В. Капский, С. С. Семченков, Е. Н. Кот // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2021. – № 2(65). – С. 66–77.

6. Семченков, С. С. Повышение эффективности работы маршрутного пассажирского транспорта применением секторального метода / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Транс-

порт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. статей / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Вып. 3. – С. 170–185.

7. Семченков, С. С. Снижение непродуктивных затрат маршрутного пассажирского транспорта секторальным методом / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 85–90.

8. Семченков, С. С. Секторальный метод повышения эффективности маршрутного пассажирского транспорта / С. С. Семченков, Д. В. Капский, А. О. Лобашов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1. – С. 64–73.

9. Эстетика на железнодорожном транспорте: ред. В. И. Сергеева. – Москва : «Транспорт», 1977. – 376 с.

10. ТКП 314–2011. Техническое обслуживание и ремонт городского электрического транспорта. Нормы и правила проведения : издание официальное : дата введения 2011-09-01. – Минск : Транстехника, 2012. – IV. – 48 с.

SEMTCHENKOV S., Ph. D. in Eng.,
Senior Lecturer at the Department of Transport Systems and Technologies¹
E-mail: sergej.semtschenkow@gmail.com

KOROLCHUK M., Master's degree
First Deputy Director – Chief Engineer²
E-mail: 375298635239@yandex.by

KAPSKI D., Doctor of Technical Sciences, Prof.,
Prof. at the Department of Transport Systems and Technologies¹,
Deputy Chairman of the Higher Attestation Commission³
E-mail: d.kapsky@gmail.com

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

²Tram Park branch of the State Enterprise Minsktrans, Belarus

³Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Received 04 October 2024

IMPROVING THE EFFICIENCY OF URBAN PASSENGER TRANSPORT BY REORGANIZING THE TRAM ROUTE NETWORK IN MINSK

The article discusses the issues of improving the efficiency of the rail cities passenger transport system on the formed route network, the routes of which have been established and the routes have been unchanged for many years. The research conducted by the authors made it possible to identify problematic issues of such rail systems, to form a new approach to the choice of rolling stock and maintenance of the route network, on the basis of which proposals were formed and an action plan for Minsk was developed, the economic efficiency of the proposed solutions was determined. Using the example of the transport system of the city of Minsk, taking into account the need to improve its environmental friendliness, as well as the comfort and safety of transportation, an assessment was made of the potential of rail passenger transport, which is designed to transport large volumes of passengers, as well as its technical condition and compliance with modern requirements for reliability, economy and efficiency. A strategy for the use of trams, development of technical requirements and technical specifications for their production was developed. An assessment was made of the effectiveness of the implementation of a new approach to servicing the tram route network in the largest city - the capital of our country. The presented materials can be useful to a wide range of readers, as well as to specialists conducting research and practical developments in the field of rail transport systems.

Keywords: electric route passenger transport, tram, traffic management, rail track, articulated trams, tram efficiency.

Литература

1. Маршрутный транспорт городов Полоцка и Новополоцка: эффективность и тенденции развития / Д. В. Капский и др. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 308 с.

2. Правила технической эксплуатации трамвая : утверждены приказом Министра жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 03.09.1996 № 101 – Минск : Белинкоммаш, 1996. – 100 с.

3. СН 3.03.02–2019. Трамвайные и троллейбусные линии : издание официальное : дата введения 2019-12-16. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – IV, 57 с.

4. Планирование устойчивой городской мобильности : монография / И. Н. Пугачев, А. О. Лобашов, С. С. Семченков, Е. Н. Кот, Д. В. Капский, С. В. Богданович. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2023. – 147 с.

5. Капский, Д. В. Организация дорожного движения с учетом электрического маршрутного пассажирского транспорта / Д. В. Капский, С. С. Семченков, Е. Н. Кот // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2021. – № 2(65). – С. 66–77.

6. Семченков, С. С. Повышение эффективности работы маршрутного пассажирского транспорта применением секторального метода / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. статей / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Вып. 3. – С. 170–185.

7. Семченков, С. С. Снижение непродуктивных затрат маршрутного пассажирского транспорта секторальным методом / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Вестн. Полоц. гос. ун-та.

Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 85–90.

8. Семченков, С. С. Секторальный метод повышения эффективности маршрутного пассажирского транспорта / С. С. Семченков, Д. В. Капский, А. О. Лобашов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–2(80). – С. 64–73.

9. Эстетика на железнодорожном транспорте: ред. В. И. Сергеева. – Москва: «Транспорт», 1977. – 376 с.

10. ТКП 314–2011. Техническое обслуживание и ремонт городского электрического транспорта. Нормы и правила проведения : издание официальное : дата введения 2011-09-01. – Минск : Транстехника, 2012. – IV. – 48 с.

УДК 656.13

ЛЕБЕДЕВА М.Р., магистрант,
кафедра «Транспортные системы и технологии»
E-mail: replika1999@inbox.ru

ЛОБАШОВ А.О., д-р техн. наук, проф.,
зав. каф. «Транспортные системы и технологии»
E-mail: lobashovao@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 25.10.2024

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ В ГОРОДЕ МИНСКЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ФАКТОРЫ РИСКА

Статья посвящена анализу статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в Минске за период с 2014 по 2023 год, с целью выявления основных тенденций и факторов риска, влияющих на безопасность дорожного движения. Актуальность проблемы обусловлена увеличением автомобильного потока и изменением структуры движения, что приводит к росту числа ДТП, особенно в зонах с высокой плотностью застройки. В статье рассматриваются динамика аварийности, причины происшествий и различные категории ДТП, такие как столкновения транспортных средств и наезды на пешеходов. Анализ данных показал, что количество погибших в ДТП имеет тенденцию к снижению, особенно в последние два года, несмотря на колебания в предыдущие годы. Основные виды ДТП, согласно статистике, составляют столкновения (около 50 %) и наезды на пешеходов (около 30 %), что указывает на необходимость улучшения пешеход-

ной инфраструктуры и повышения безопасности уязвимых участников дорожного движения. Авторы также отмечают влияние внешних факторов, таких как погодные условия и социальные мероприятия, на динамику ДТП. В заключение, статья подчеркивает необходимость комплексного подхода к повышению безопасности на дорогах, включая развитие инфраструктуры, образовательные программы для водителей и пешеходов, а также усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения. Основные рекомендации касаются улучшения дорожной инфраструктуры и повышения осведомленности всех участников дорожного движения о правилах безопасности.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, безопасность дорожного движения, статистический анализ, факторы риска.

Введение

Проблема безопасности дорожного движения остаётся крайне важной для современных городов, включая Минск. Увеличение автомобильного потока и рост числа транспортных средств, в сочетании с изменением структуры движения, способствуют увеличению числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Улицы местного значения, часто используемые пешеходами и частным транспортом, подвержены высоким рискам из-за низкой инфраструктурной готовности и недостаточной организации дорожного движения [1–4].

Статистика показывает рост числа ДТП в Минске, особенно в зонах с высокой плотностью застройки. Такие происшествия могут иметь серьезные последствия, включая травмы и летальные исходы, что подчеркивает необходимость углублённого анализа и эффективных мер по повышению безопасности.

Цель данного исследования – провести статистический анализ ДТП в Минске для выявления тенденций и факторов риска, влияющих на безопасность дорожного движения. Задачи исследования включают:

- 1) сбор и обработка данных о ДТП за последние годы;
- 2) выявление основных тенденций в динамике ДТП;
- 3) анализ факторов риска;
- 4) разработка рекомендаций по улучшению безопасности дорожного движения.

Современные подходы к анализу ДТП

Существует множество исследований, посвященных анализу дорожного движения и безопасности. В Беларуси и за ее пределами работы сосредоточены на следующих аспектах:

1. Анализ факторов риска: исследования показывают, что превышение скорости, несоблюдение правил и неблагоприятные погодные условия являются основными факторами, способствующими ДТП. Особое внимание уделя-

ется человеческому фактору, который часто оказывается решающим в ситуациях аварий.

2. Инфраструктурные исследования: обращается внимание на недостатки в инфраструктуре, такие как отсутствие светофоров и нечеткая разметка, что увеличивает риск ДТП.

3. Международный опыт: сравнительные исследования показывают, что внедрение современных технологий (например, автоматизированные системы контроля скорости) и повышение осведомленности водителей могут существенно снизить число ДТП.

В данной области исследований несколько работ предлагают глубокий анализ текущей ситуации и выявление ключевых факторов, влияющих на статистику ДТП.

В своей научной статье Пацкевич А. П. исследует сложную ситуацию с обеспечением безопасности дорожного движения в стране. Автор предоставляет обширные статистические данные о количестве ДТП, числе погибших и пострадавших за последние несколько лет. Анализируя причины происшествий, связанные с действиями водителей, статья подчеркивает необходимость улучшения следственной работы и оперативного реагирования на ДТП. Это исследование обращает внимание на важность комплексного подхода к расследованию аварий, что может способствовать повышению безопасности на дорогах и снижению числа происшествий [5].

В следующем исследовании под авторством Бойкова В. Н. и Субботина С. А. рассматривается применение геоинформационных систем (ГИС) для анализа ДТП, что открывает новые возможности для пространственного анализа данных. Автор подчеркивает преимущества использования ГИС для выявления причин аварий и предложений по улучшению дорожной инфраструктуры. Методология, предложенная в исследовании, позволяет детально изучать местоположения ДТП и выявлять зоны повышенного риска, что является ключевым аспектом для разра-

ботки целенаправленных мер по повышению безопасности дорожного движения [6–8].

Наиболее близким исследованием к тематике моей статьи оказалось исследование Вашедок Е. С. В этом исследовании представлена всесторонняя статистика ДТП в Беларуси, включая анализ причин гибели участников. Несмотря на увеличение числа автомобилей, данные показывают, что за последние годы количество погибших в ДТП значительно сократилось. Это может свидетельствовать о положительных изменениях в области дорожной безопасности, таких как улучшение инфраструктуры и усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения. Однако исследование также указывает на необходимость дальнейшего анализа основных типов аварий и их последствий для различных категорий участников дорожного движения [8–10].

Таким образом, литература по статистике ДТП в Беларуси показывает необходимость комплексного подхода к проблеме безопасности дорожного движения. Работы подчеркивают значимость как статистического анализа, так и применения современных технологий для улучшения дорожной инфраструктуры и повышения безопасности всех участников дорожного движения.

В ходе анализа применяются различные статистические методы для выявления закономерностей и тенденций:

- регрессионный анализ: используется для оценки влияния различных факторов (например, интенсивности движения, погодных условий, инфраструктуры) на вероятность возникновения ДТП. Модель позволяет выявить значимые предикторы, которые способствуют увеличению аварийности.

- кластерный анализ: применяется для группировки данных о ДТП по различным параметрам (например, по времени суток, дням недели, типам происшествий) для выявления общих паттернов и характеристик. Это позволяет выделить участки с высокой концентрацией аварий и группы с похожими условиями.

- анализ временных рядов: используется для изучения динамики ДТП во времени, выявления сезонных колебаний и трендов. Этот метод помогает понять, как изменяется уровень аварийности в зависимости от времени года, месяца или дня недели, а также позволяет прогнозировать будущие тенденции.

В последние годы в Минске наблюдается заметная динамика в количестве ДТП. Основные тренды включают:

- рост числа ДТП: увеличение автомобильного потока и рост населения способствуют увеличению аварийности. Более активное использование личного и общественного транспорта также играет роль;

- изменение структуры ДТП: увеличивается доля ДТП с участием пешеходов и велосипедистов, что подчеркивает необходимость особого внимания к безопасности уязвимых участников дорожного движения;

- смертность и травматизм: несмотря на общий рост числа аварий, наблюдается снижение числа смертельных случаев, что может быть связано с улучшением инфраструктуры и усилением контроля за соблюдением правил дорожного движения.

При анализе ДТП в Минске выделяются характерные сезонные и временные закономерности:

- 1) сезонные колебания: данные показывают, что количество ДТП увеличивается в весенне-летний период, что связано с ростом автомобильного потока и активностью пешеходов. Зимой же, несмотря на неблагоприятные погодные условия, количество ДТП может снижаться из-за уменьшения объема движения;

- 2) временные закономерности: пик ДТП приходится на вечерние часы (17:00–20:00) и выходные дни, когда наблюдается увеличение потока автомобилей и пешеходов. Выявление «часов пик» позволяет внедрять профилактические меры для снижения аварийности в эти интервалы.

Ряд внешних факторов существенно влияют на динамику ДТП. К основным внешним факторам относятся:

- 1) погодные условия: плохие погодные условия, такие как дождь и снег, увеличивают риск ДТП из-за скользких дорог и плохой видимости. Многие водители не учитывают изменения в условиях и не адаптируют свою скорость;

- 2) социальные мероприятия: проведение массовых мероприятий, таких как праздники или спортивные события, приводит к увеличению потока людей и автомобилей, что также повышает риск ДТП. В дни таких мероприятий необходимо уделять особое внимание безопасности;

- 3) меры безопасности: усиление патрулирования ГАИ и проведение информационных кампаний могут положительно сказаться на снижении числа ДТП, особенно в период массовых мероприятий.

Демографические и поведенческие факторы играют ключевую роль в аварийности:

1) возраст: молодые водители (18–25 лет) чаще становятся участниками ДТП из-за недостатка опыта и склонности к рискованному поведению. В то же время, пожилые водители (старше 65 лет) подвержены повышенному риску в сложных дорожных условиях;

2) пол: мужчины чаще вовлекаются в ДТП, что может быть связано с различиями в поведении за рулем;

3) поведение водителей: небрежность, использование мобильных телефонов за рулем и управление в состоянии опьянения значительно повышают риск аварий;

4) поведение пешеходов: игнорирование правил, таких как переход дороги в неположенных местах, также увеличивает риск ДТП, особенно вблизи учебных заведений.

Влияние инфраструктуры и дорожных условий:

1) количество полос: широкие дороги могут увеличивать скорость и, следовательно, вероятность ДТП, особенно в условиях недостаточной разметки;

2) наличие светофоров и пешеходных переходов: организация дорожного движения с достаточным количеством светофоров и безопасных переходов значительно снижает риск аварий;

3) качество дорожного покрытия: дефекты дорожного покрытия, такие как ямы и трещины, могут привести к авариям, особенно в неблагоприятных погодных условиях;

4) освещение: недостаточное освещение на улицах увеличивает риск аварий в вечернее и ночное время.

Некоторые зоны на улицах имеют повышенный риск ДТП:

1) перекрестки: это наиболее опасные места, где часто происходят аварии при поворотах из-за высокой интенсивности движения и плохой видимости;

2) пешеходные переходы: неправильная организация переходов и отсутствие светофоров

могут привести к увеличению ДТП с участием пешеходов;

3) зоны массового скопления людей: места возле школ и торговых центров требуют особого внимания из-за высокого потока пешеходов.

План анализа ДТП

Анализ ДТП в г. Минске был произведен в следующей последовательности:

1) определение общей тенденции изменения количества погибших и раненых за период с 2014 по 2022 год;

2) определение удельного веса различных видов ДТП: столкновения, наезды на препятствие, опрокидывание и прочие. Оценка взаимосвязи видов ДТП и тяжести последствий;

3) определение причин изменения показателей аварийности (например, изменение инфраструктуры, изменение правил дорожного движения и т. д.);

4) выводы и рекомендации.

Основная часть

Первым шагом является анализ статистики количества погибших и раненых в ДТП за период с 2014 по 2023 год. Построим графики и выявим тенденции. Графики изменения количества погибших и раненых представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Количество погибших колеблется, но в целом наблюдается тенденция к снижению до 2018 года. Затем количество погибших стабилизировалось на уровне 30–40 человек, с исключением резкого снижения в 2022 году. Общая тенденция к снижению как по последствиям смертей, так и по последствиям ранений, особенно заметная в последние два года (2022 и 2023 гг.)

Количество раненых демонстрировало устойчивое снижение до 2017 года, после чего наблюдается некоторая волатильность, с значительным увеличением в 2021 году и затем снижением в 2022 году. Несмотря на противоречивые всплески в 2019 и 2021 годах, тенденция к снижению сохраняется.

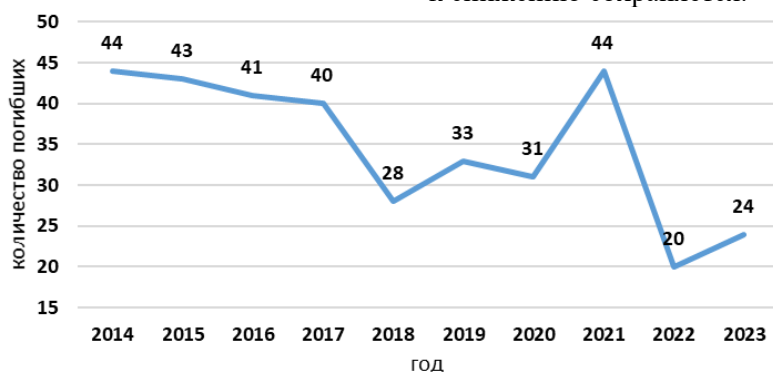


Рисунок 1 – График изменения количества погибших в ДТП

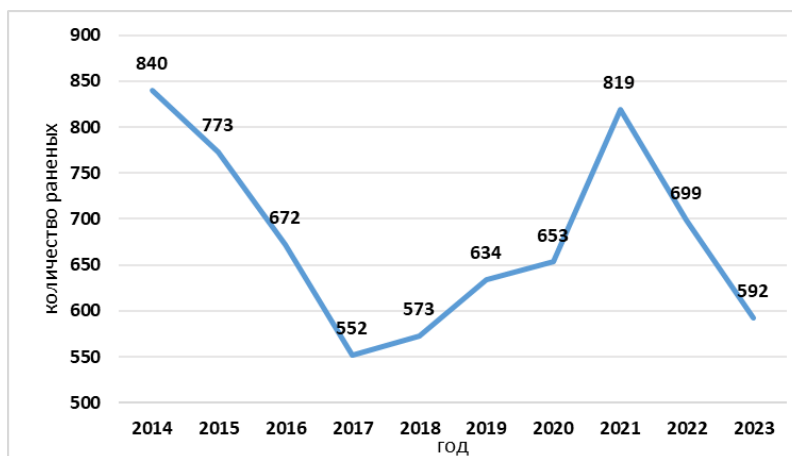


Рисунок 2 – График изменения количества раненых в ДТП

Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на падение, общее снижение числа смертей и раненых является основной тенденцией к увеличению, хотя временные всплески требуют дополнительного анализа факторов, влияющих на это.

В соответствии с классификацией, существуют следующие виды ДТП: столкновение

транспортных средств, опрокидывание транспортных средств, наезд на пешехода, наезд на велосипедиста, наезд на препятствие, наезд на стоящее транспортное средство и прочие ДТП. Далее на рис. 3 представлена диаграмма с процентным соотношением случаев за период 2014–2020 годов.

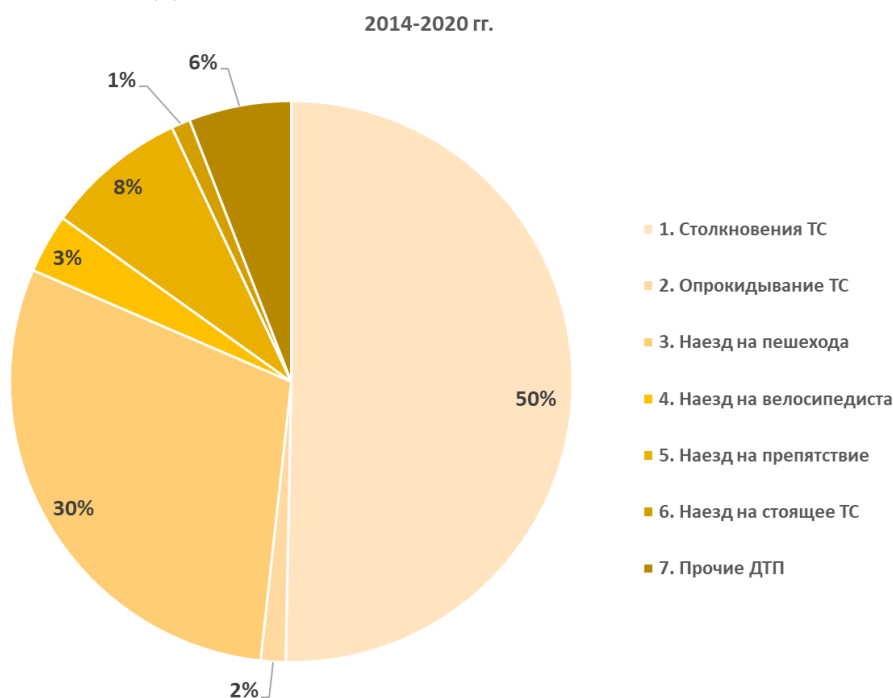


Рисунок 3 – Диаграмма изменения количества ДТП по категориям в период 2014-2020 гг.

Столкновения транспортных средств составляют около 50,31 % от общего числа ДТП за период 2014–2020 годов, что делает их самой распространенной категорией. Это указывает на необходимость совершенствования мер безопасности на дорогах, направленных на снижение столкновений, например, улучшение условий видимости, разметки и развязок, а также усиление контроля за соблюдением правил маневрирования.

Наезды на пешеходов составляют 29,76 % от общего числа происшествий, что подчеркивает уязвимость пешеходов и важность улучшения пешеходной инфраструктуры. Такие меры, как создание дополнительных пешеходных переходов, усиление освещения в местах переходов и внедрение зон пониженной скорости, могут способствовать снижению числа подобных происшествий.

Наезды на препятствия составляют 8,13 % всех ДТП. Эти случаи могут свидетельствовать о сложностях, возникающих при неблагоприятных погодных условиях, плохой видимости или недостаточном контроле водителей за ситуацией на дороге. Повышенное внимание к состоянию дорожного полотна и установке предупреждающих знаков на сложных участках может помочь сократить этот тип аварий.

Наезды на велосипедистов составляют 3,41 % от общего числа происшествий, что, хотя и является сравнительно невысоким показателем, указывает на необходимость повышения безопасности для этой группы участников дорожного движения. Создание и поддержание безопасных велодорожек и выделенных полос для велосипедистов помогут уменьшить риск наездов.

Опрокидывания транспортных средств составляют всего 1,43 % от общего количества происшествий, что свидетельствует о редкости таких ДТП, но все же требует профилактики, особенно при проезде сложных участков дорог и мостов. Наезды на стоящие транспортные средства составляют 1,08 %, что также говорит

о низкой частоте, однако меры по усилению видимости припаркованных автомобилей могут снизить этот вид аварий.

Прочие виды ДТП составляют 5,89 % от общего числа, охватывая различные неучтенные типы происшествий. Эти случаи показывают необходимость более глубокого анализа менее распространенных факторов риска для повышения общей безопасности дорожного движения.

В 2021 году были изменены правила учета ДТП, что привело к существенному увеличению зарегистрированных случаев по сравнению с периодом 2014–2020 годов. Новая система учета охватывает большее количество происшествий, включая более мелкие и ранее не фиксируемые инциденты. Поэтому увеличение количества ДТП в 2021 и 2022 годах обусловлено не столько ростом аварийности, сколько расширением критериев учета, что делает данные этих лет некорректными для прямого сравнения с предыдущим периодом. На рис. 4 и 5 представлены диаграммы изменения количества ДТП по категориям за 2021 и 2022 года соответственно.

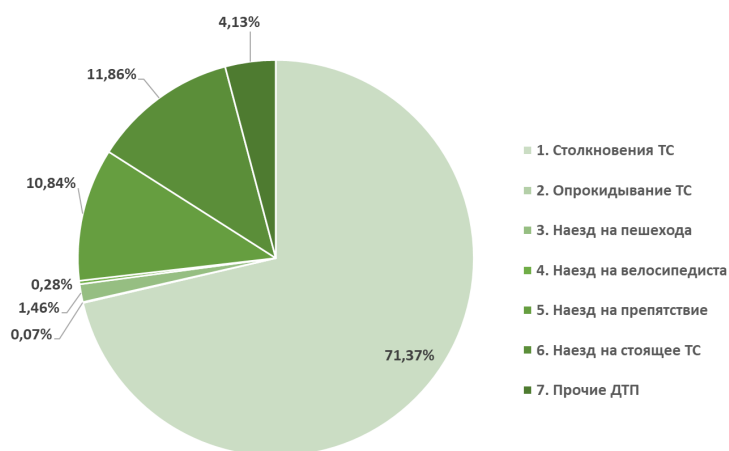


Рисунок 4 – Диаграмма изменения количества ДТП по категориям за 2021 г.

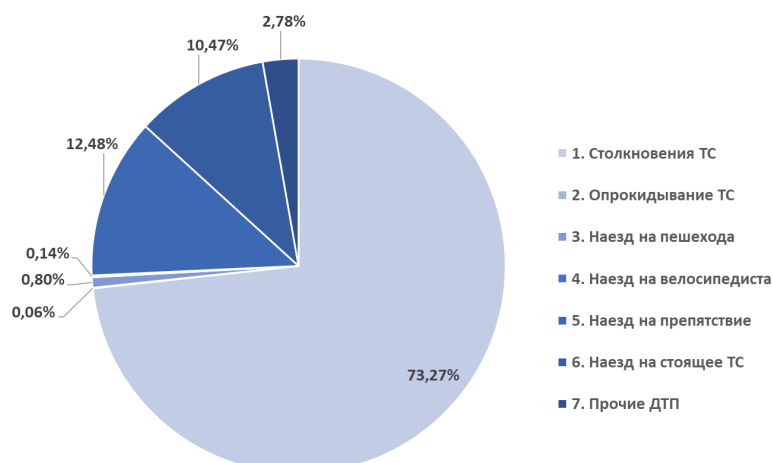


Рисунок 5 – Диаграмма изменения количества ДТП по категориям за 2022 г.

В 2021 и 2022 годах основная доля ДТП приходится на столкновения транспортных средств, что составляет 71,37 % в 2021 году и резко возросло до 73,27 % в 2022 году. Существенный рост таких происшествий можно объяснить изменениями в учете ДТП, которые позволили включать более широкий спектр случаев. Это подчеркивает важность дальнейших мер для снижения столкновений на дорогах, включая усиление контроля за соблюдением правил маневрирования и дистанции, а также повышение информированности водителей.

Частота наездов на препятствия также значительно выросла в 2022 году с 10,84 % в 2021 году до 12,48 % в 2022 году. Вероятные причины увеличения этого вида ДТП могут включать ухудшение состояния дорожного покрытия или наличие сложных погодных условий, что требует усиленного внимания к дорожной инфраструктуре и своевременному обслуживанию дорог.

Наезды на стоящие транспортные средства составили 11,86 % всех ДТП в 2021 году и снизились до 10,47 % в 2022 году, что свидетельствует о проблемах с организацией парковочных зон и невнимательности водителей. Меры по улучшению условий парковки, в том числе организация парковочных зон вдоль проезжей части и разметка, могут помочь снизить риск этих происшествий.

Наезды на пешеходов остаются на сравнительно низком уровне, составив 1,46 % в 2021 году и 0,8 % в 2022 году. Это может говорить об относительной стабильности в организации пешеходных зон и переходов, однако требует постоянного контроля и повышения безопасности пешеходных участков, особенно в местах с интенсивным движением.

Прочие ДТП в абсолютных значениях увеличились, однако в процентном соотношении их доля снизилась с 4,13 % до 2,78 % из-за общего роста числа происшествий.

Таким образом, основные изменения в количестве происшествий связаны как с факторами изменения условий дорожного движения, так и с расширением критериев учета ДТП, что привело к более подробному учету инцидентов в 2021 и 2022 годах.

Заключение

В статье проанализированы статистические данные по ДТП за период с 2014 по 2023 год, выделяя количество погибших и раненых, а также различные категории происшествий.

Количество погибших в ДТП демонстрировало колебания, с тенденцией к снижению до 2018 года, после чего количество стабилизировалось на уровне 30–40 человек с резким снижением в 2022 году. В последние два года наблюдается общее снижение числа как погибших, так и раненых, что говорит о положительной динамике в борьбе с аварийностью.

Количество раненых также снизилось до 2017 года, но с 2018 года наблюдаются волатильные изменения, включая всплески в 2019 и 2021 годах. Несмотря на это, общая тенденция остается направленной на снижение.

Что касается классификации ДТП, столкновения транспортных средств составляют 50,31 % всех происшествий в период с 2014 по 2020 годы, что делает их самой распространенной категорией. Наезды на пешеходов составляют 29,76 %, подчеркивая уязвимость этой группы. При этом наезды на препятствия составляют 8,13 %, а на велосипедистов – 3,41 %. В 2021 и 2022 годах произошло изменение правил учета ДТП, что привело к резкому увеличению зарегистрированных случаев, особенно столкновений, которые составили 71,37 % и 73,27 % соответственно.

Профилактические меры и образовательные программы должны играть важную роль в снижении аварийности. Особое внимание следует уделить обучению молодых водителей, поскольку они чаще подвержены рискам. Кроме того, важна информационная работа с пешеходами и велосипедистами для повышения их осведомленности о правилах безопасности на дорогах.

Для улучшения ситуации с безопасностью дорожного движения в Минске необходимы следующие меры:

- развитие инфраструктуры: установка дополнительных светофоров, улучшение дорожной разметки, освещения и пешеходных переходов;
- внедрение образовательных программ для водителей и пешеходов, направленных на повышение осведомленности о правилах дорожного движения;
- усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения, включая применение автоматизированных систем контроля скорости и видеонаблюдения;
- улучшение состояния дорог, особенно в зонах повышенной аварийности, с учетом климатических особенностей области.

Комплексный подход к этим мерам, с учетом выявленных факторов риска, позволит значительно повысить безопасность дорожного дви-

жения и снизить количество ДТП в будущем. В целом, решением проблемы роста ДТП должно стать сочетание инфраструктурных улучшений, усиления контроля за соблюдением ПДД, а также образовательных и профилактических программ. Комплексный подход, включающий участие государства и граждан, может существенно повысить безопасность дорожного движения в Минске.

Литература

1. Assessing Driver Fatigue During Urban Traffic Congestion Using ECG Method / N. Gyulyev, A. Galkin, T. Schlosser [et al.] // *Dynamics in Logistics*. – 2022. – P. 449–461.
2. The driver's visual perception research to analyze pedestrian safety at twilight / B. González-Hernández, D. S. Usami, O. Prasolenko [et al.] // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – Vol. 45. – P. 827–834.
3. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт [и др.]. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
4. Гаврилов, Э. В. Оценка безопасности движения в городских условиях / Э. В. Гаврилов, И. Э. Линник, А. В. Банатов // *Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета*. – 2002. – № 17. – С. 57–62.
5. Пацкевич, А. П. Актуальные проблемы расследования дорожно-транспортных происшествий в Республике Беларусь на современном этапе / А. П. Пацкевич // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Д. Экономические и юридические науки*. – 2014. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-rassledovaniya-dorozhno-transportnyh-proisshestviy-v-respublike-belarus-na-sovremennom-etape> (дата обращения: 02.09.2024).
6. Тенденції зміни рівня аварійності у транспортній мережі м. Харкова / О. Д. Нескоромний, О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко, Д. Л. Бурко // *Комунальне господарство міст*. – 2017. – Вип. 134. – С. 75–79.
7. Лобашов, А. О. Перспективы дорожного движения в крупнейших городах / А. О. Лобашов, С. Б. Дульфам // *Сборник научных трудов Совершенствование дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов*. – Минск, БНТУ. – 2014. – С. 19–24. (Посвящен 5-й ежегодной Международной научно-практической конференции (22–25 октября 2013 г.)).
8. Бойков, В. Н. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad / В. Н. Бойков, С. А. Субботин // *ООО «ИндорСофт»*. – 2014. – №1 (2). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dorozhno-transportnyh-proisshestviy-s-ispolzovaniem-gis-indorroad> (дата обращения: 22.10.2024).
9. Вашедок, Е. С. Статистика ДТП с гибелью участников по Республике Беларусь / Е. С. Вашедок ; науч. рук. В. В. Павлова // *НИРС-2015 : материалы 71-й студенческой научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет*. – Минск : БНТУ. – 2015. – С. 169.
10. Лобашов, О. О. Закономірності зміни показників аварійності у Індустріальному районі міста Харкова / О. О. Лобашов, Д. М. Рославцев, Ю. В. Пасека // *Комунальне господарство міст*. – 2018. – Вип. 140. – С. 63–68.
11. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
12. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.

LEBEDEVA M. R., Master's Student.
Department of «Transport Systems and Technologies»
E-mail: replika1999@inbox.ru

LOBASHOV A. O., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of «Transport Systems and Technologies»
E-mail: lobashovao@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Received 25 October 2024

STATISTICAL ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS IN THE CITY OF MINSK: TRENDS AND RISK FACTORS

The article is dedicated to the analysis of traffic accident statistics in Minsk from 2014 to 2023, aiming to identify the main trends and risk factors affecting road safety. The relevance of the issue is underscored by the increasing volume of traffic and changes in traffic patterns, which contribute to a rise in the number of road traffic accidents (RTAs), especially in densely populated areas. The study examines the dynamics of accidents, the causes of incidents, and various categories of RTAs, such as vehicle collisions and pedestrian accidents. Data analysis revealed a downward trend in the number of fatalities from RTAs, particularly in recent years, despite fluctuations in earlier years. The primary types of accidents, according to statistics, are collisions (around 50%) and pedestrian accidents (around 30%), indicating a need for improved pedestrian infrastructure and enhanced safety for vulnerable road users. The authors also highlight the impact of external factors, such as weather conditions and social events, on the dynamics of traffic accidents. In conclusion, the article emphasizes the necessity of a comprehensive approach to enhancing road safety, including infrastructure development, educational programs for drivers and pedestrians, as well as strengthened enforcement of traffic regulations. The main recommendations focus on improving road infrastructure and raising awareness among all road users about safety rules.

Keywords: road traffic accidents, road safety, statistical analysis, risk factors.

References

1. Assessing Driver Fatigue During Urban Traffic Congestion Using ECG Method / N. Gyulyev, A. Galkin, T. Schlosser [et al.] // Dynamics in Logistics. – 2022. – P. 449–461.
2. The driver's visual perception research to analyze pedestrian safety at twilight / B. González-Hernández, D. S. Usami, O. Prasolenko [et al.] // Transportation Research Procedia. – 2020. – Vol. 45. – P. 827–834.
3. Automobile Transport and Traffic Management / W. U. Rankin, P. Claffy, S. Halbert [et al.]. – Moscow : Transport, 1981. – 592 p.
4. Gavrillov, E. V. Evaluation of Traffic Safety in Urban Conditions / E. V. Gavrillov, I. E. Linnik, A. V. Banatov // Bulletin of Kharkiv State Technical University of Automobile and Roads. – No. 17. – 2002. – P. 57–62.
5. Packevich, A. P. Current Issues in Traffic Accident Investigation in the Republic of Belarus at the Present Stage. Bulletin of Polotsk State University. Series D. Economic and Legal Sciences, No. 6 (2014). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-rassledovaniya-dorozhno-transportnyh-proisshestviy-v-respublike-belarus-na-sovremennom-etape/> (access date: 02.09.2024).
6. Trends in the Change of Accident Levels in the Transport Network of Kharkiv / O. D. Neskromny, O. O. Lobashov, O. V. Prasolenko, D. L. Burko, // Municipal Economy of Cities. – Series: Technical Sciences and Architecture. – no. 134. – 2017. – P. 75–79.
7. Lobashov, A. O. Prospects of Traffic Development in Major Cities / A. O. Lobashov, S. B. Dulfan // In Proceedings of the Scientific Conference on the Improvement of Traffic and Passenger and Freight Transport. Minsk: Belarusian National Technical University, 2014, P. 19–24. (Dedicated to the 5th Annual International Scientific and Practical Conference, October 22–25, 2013).

8. Boikov, V. N. Analysis of Traffic Accidents Using IndorRoad GIS / V. N. Boikov, S. A. Subbotin // IndorSoft LLC. – No. 1(2). – 2014. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dorozhno-transportnyh-proisshestviy-s-ispolzovaniem-gis-indorroad> (access date: 22.10.2024).

9. Vashedok, E. S. Statistics of Traffic Accidents with Fatalities in the Republic of Belarus / E. S. Vashedok, Scientific Supervisor: V. V. Pavlova // Research Materials of the 71st Student Scientific and Technical Conference, Belarusian National Technical University, Faculty of Automotive Engineering. – Minsk : BNTU, 2015. – P. 169.

10. Lobashov, O. O. Patterns of Change in Accident Rates in the Industrial District of Kharkiv / O. O. Lobashov, D. M. Roslavytsev, Y. V. Paseka, // Municipal Economy of Cities. Series: Technical Sciences and Architecture/ – № 140/ – 2018/ – P. 63–68.

11. Kapski, D. V. Methodology of improving the quality of road traffic traffic / D. V. Kapski . – Minsk : BNTU, 2018. – 372 p.

12. Kapski, D. V. Prediction of Accident Rate in Road Traffic: monograph / D. V. Kapski . – Minsk : BNTU, 2008. – 243 p.

УДК 656.212.4.08

ФИЛАТОВ Е. А., канд. техн. наук,

доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда»

E-mail: filatoff.ea@yandex.by

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 30.09.2024

БЕЗОПАСНОСТЬ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ В СТРЕЛОЧНЫХ ЗОНАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Одной из наиболее устойчивых тенденций развития железнодорожного транспорта является увеличение грузоподъемности и грузоместимости грузовых вагонов, что приводит к пропорциональному увеличению их длины (в среднем на 1 м каждые 10 лет). Это приводит к соответствующему увеличению смещений осей сцепления вагонов в кривых относительно оси пути и, соответственно, к снижению безопасности маневровой работы. При этом изменение параметров путей для компенсации данного явления часто затруднено и не производится. Особенно это актуально для зон расположения стрелочных переводов. В статье выполнен анализ применяемых схем взаимной укладки стрелочных переводов и установлены случаи не обеспечивающие техническую совместимость с подвижным составом. Исследования позволили установить, что наихудшие условия работы создаются, когда смежные переводы образуют s-образные кривые, особенно без вставки или с минимальной ее величиной. Такая ситуация в большей степени характерна для симметричных стрелочных переводов марки 1/6. В результате получены параметры расположения стрелочных переводов различных типов, обеспечивающих эффективность маневровой работы с грузовыми вагонами. Применение результатов исследования позволит решить ряд проблем технической совместимости подвижного состава и схем взаимного размещения стрелочных переводов (в части обеспечения автоматического сцепления и движения вагонов в сцепе), тем самым повысив безопасность и эффективность работы железнодорожных станций.

Ключевые слова: вагоны увеличенных размеров, вагоны массовых типов, схемы взаимного размещения стрелочных переводов, техническая совместимость, автоматическое сцепление, движение в сцепе.

Введение

Основными элементами конструкций стрелочных горловин раздельных пунктов с путевым развитием являются стрелочные переводы, взаимное размещение которых имеет установленные ограничения [1, 2]. Рекомендуемые схемы укладки определяются положением переводов, наличием и длиной прямой вставки. Величина вставки зависит от режимов движения по участку расположения стрелочных переводов: чем более динамичные и ответственные условия эксплуатации, тем больше длина прямой вставки. Так на второстепенных станционных путях как правило допускается не применять вставку между стрелочными переводами. С другой стороны, на главных путях со скоростями движения выше 140 км/ч предусматривается максимальная длина прямой вставки 25 м. Данные ограничения объясняются дополнительными боковыми силами при проследовании подвижного состава по переводным кривым стрелочных переводов, которые приводят к повышенному износу в зоне контакта «колесо-рельс» и возникновению дополнительных рисков при проследовании острия, крестовин и кривых минимальных радиусов (особенно при использовании переводов марки 1/6 и 1/9). Как правило, наихудшие условия создаются в сочетаниях переводов с образованием *s*-образных кривых по маршруту движения.

Выполненные автором исследования позволили установить дополнительные ограничения на параметры взаимной укладки стрелочных переводов, связанные со смещением консольных частей вагона в кривой относительно пути и соответствующем снижении эффективности автоматического сцепления и движения вагонов в сцепе [3–5]. Применение предложенного критерия технической совместимости особенно актуально при маневровой работе в зонах расположения стрелочных переводов с вставками минимальной длины или без них.

Основная часть

Выполним оценку различных конструкций схем взаимного размещения стрелочных переводов для условий движения со скоростями до 140 км/ч. В качестве расчетных вагонов приняты вагоны массовых типов (ВМТ) и увеличенных размеров (ВУР), [6].

Обыкновенные стрелочные переводы с крестовинами марок 1/9 и 1/11.

Схема № 1 – встречное разностороннее расположение стрелочных переводов. Данная схема укладки образует *s*-образную кривую с прямой вставкой (рис. 1).

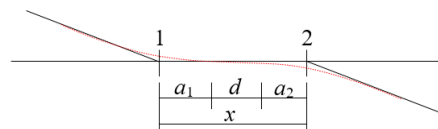


Рисунок 1 – Схема встречного разностороннего расположения стрелочных переводов

В соответствии с требованиями к проектированию [2], при таком расположении на главных и приемоотправочных путях должна применяться прямая вставка длиной не менее 12,5 м, а в стесненных условиях – 6,25 м. На крупных станциях разрешается применять расстояние между остриями острия, равное или более 8,66 м, а на второстепенных путях вставку не применять.

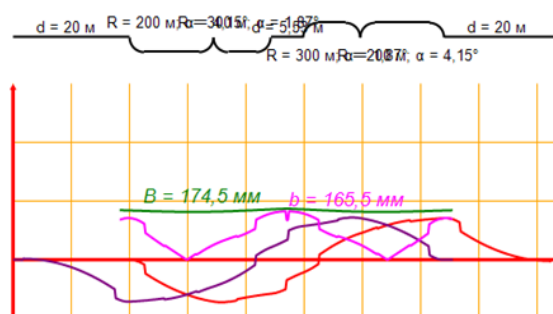


Рисунок 2 – Результаты моделирования маневровой работы с вагонами массовых типов на встречно расположенных стрелочных переводах марки 1/9 без вставки

Выполним оценку такой схемы при укладке обыкновенных стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11 на обеспечение принятого критерия безопасности и эффективности маневровой работы с вагонами массовых типов [4, 7, 8]. Для переводов с размерами, соответствующими типу ПТКБ ЦП 2726 и 2642 [9] расстояние *l* между переводными кривыми, расположенных рядом стрелочных переводов 1/9 и 1/11 Р65 без прямой вставки *d*, составят: $l_{P65} = 2,765 \cdot 2 = 5,53$ м и $l_{P50} = 4,323 \cdot 2 = 8,646$ м. Моделирование маневровой работы [5] при $l_{P65} = 5,53$ м показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2, эффективность маневров с вагонами массовых типов на переводах марок 1/9 обеспечивается даже без применения прямых вставок (резерв ширины захвата составляет $\Delta = 174,5 - 165,5 = 9$ мм). Аналогичная проверка для переводов марки 1/11 и при их комбинированном расположении (1/9–1/11) также подтверждает их эффективность при маневровой работе со сцеплением (резерв ширины захвата Δ достигает 18,6 мм).

На рис. 3 показаны результаты моделирования маневровой работы с вагонами увеличенных размеров в пределах стрелочных переводов марки 1/9, уложенных по схеме № 1 без применения вставки ($l_{P65} = 5,53$ м).

Как видно из рис. 3, безопасность при маневрах с вагонами увеличенных размеров не обеспечивается ($\Delta = -23,7$ мм). При использовании стрелочных переводов марки 1/11 по этой же схеме несоответствие условий сцепления $\Delta = -7,2$ мм. Применение вставки 6,25 м и более позволяет обеспечить техническую совместимость с вагонами увеличенных размеров при такой схеме укладки переводов марок 1/9 и 1/11 ($d = 6,25$ м: $\Delta_{1/9} = 8,5$ мм; $\Delta_{1/11} = 34,8$ мм).

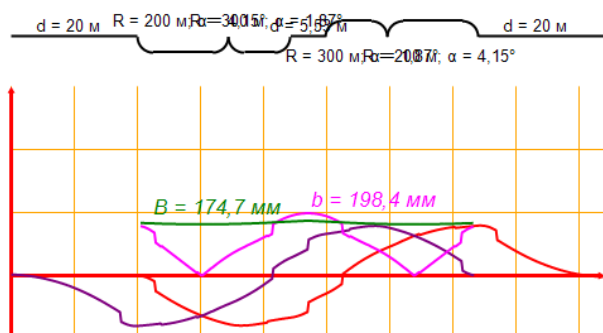


Рисунок 3 – Моделирование маневровой работы с вагонами увеличенных размеров при расположении стрелочных переводов марки 1/9 по схеме №1 без вставки

Встречное одностороннее расположение стрелочных переводов по схеме № 2 показано на рис. 4, [2]. Схема не образует s-образную кривую, а рекомендации по применению длины прямых вставок аналогичны схеме № 1.

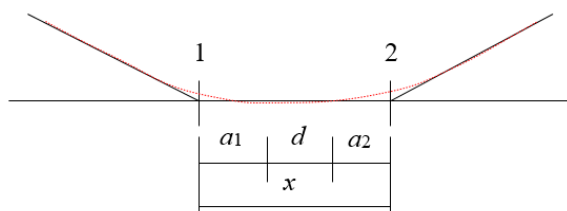


Рисунок 4 – Схема встречного одностороннего расположения стрелочных переводов

На рис. 5 показано моделирование маневровой работы с вагонами массовых типов при размещении стрелочных переводов марки 1/9 по схеме № 2.

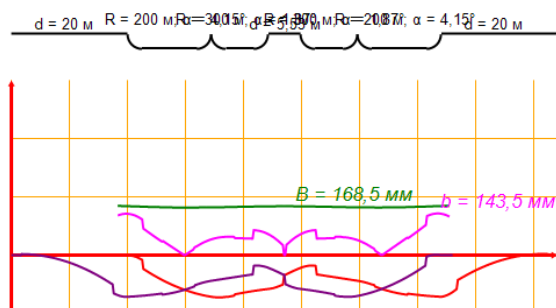


Рисунок 5 – Моделирование маневровой работы с вагонами массовых типов при встречном одностороннем расположении переводов марки 1/9 без вставки

При применении аналогичной схемы для вагонов увеличенных размеров безопасность также обеспечивается (рис. 6, $\Delta = 8,5$ мм).

Как видно из результатов моделирования, при расположении вагонов расчетных типов на стрелочных переводах марок 1/9 и 1/11 по схеме № 2 безопасность по принятому критерию [7] обеспечивается во всех случаях (рис. 5 и 6). Это объясняется отсутствием s-образных кривых по маршруту движения по такой схеме.

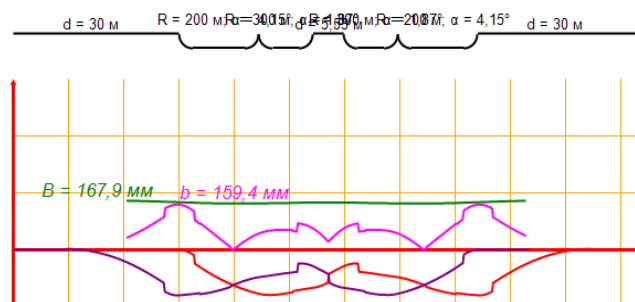


Рисунок 6 – Моделирование маневровой работы с вагонами увеличенных размеров при расположении переводов марки 1/9 по схеме № 2

При таком размещении переводов наихудшие условия создаются при взаимодействии вагонов максимально различных размеров. На рис. 7 показано моделирование наиболее неблагоприятного в условиях БЧ сочетания вагонов: хоппердозатора (модель 20-902, длина 10,87 м) и платформы (модель 23-4000, длина 23,22 м. Эффективность взаимодействия путевого развития и подвижного состава при таких условиях также подтверждается, $\Delta_{1/9} = 8,5$ мм ($\Delta_{1/11} = 44,9$ мм).

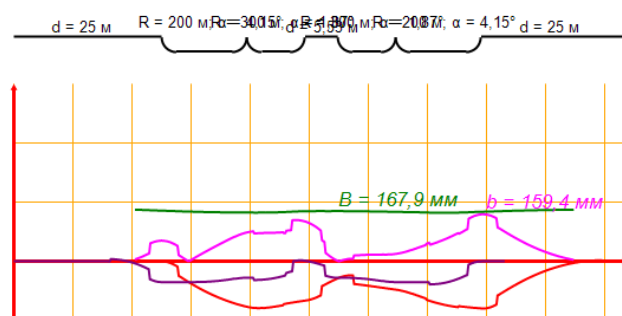


Рисунок 7 – Моделирование взаимодействия вагонов моделей 23-4000 и 20-902 при расположении переводов марки 1/9 по схеме №2 без вставки

Схема попутного разностороннего расположения стрелочных переводов № 3 показана на рис. 8. Такое сочетание образует две одиночные кривые, соответствующие отдельным стрелочным переводам. Следовательно, по маршрутам движения не создается дополнительных ограничений при маневровой работе в пределах данной схемы размещения стрелочных переводов. Если стрелочный перевод № 1 будет правосторонним

(пунктирная линия на рис. 8), то образуется составная круговая кривая, состоящая из сочетания переводных кривых со вставкой. Условия маневровой работы в таком случае будут аналогичны схеме № 2 (рис. 4).

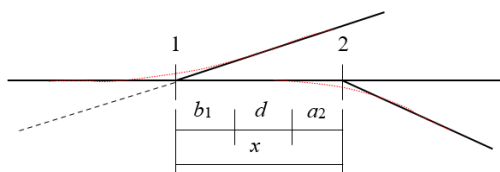


Рисунок 8 – Схема попутного разностороннего расположения стрелочных переводов

Схожие со схемой попутного расположения условия технической совместимости (переводные кривые не образуют составных кривых) создаются также при применении схем № 4 и № 5 (рис. 9, [2]), т. к. образуются только одиночные круговые кривые.

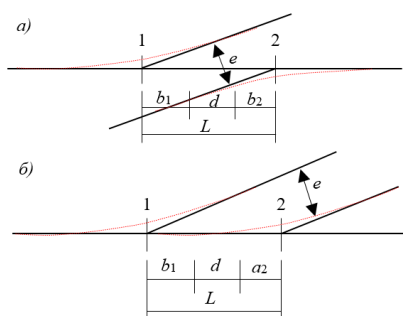


Рисунок 9 – Взаимное расположение стрелочных переводов крестовинами навстречу (а) и одностороннее в попутном направлении (б)

Однако, как показывает практика применения таких схем на станциях их конструкция может отличаться от указанных в [2]. На рис. 10, а показана схема № 4, образующая обыкновенный одиночный съезд между параллельными путями. Такое расположение переводов создает условия, аналогичные варианту попутной укладки переводов по схеме № 5 (рисунок 9, б), который образует s-образную кривую с прямой вставкой. Схема одностороннего расположения стрелочных переводов в попутном направлении (рисунок 10, б) также может образовывать s-образную кривую.

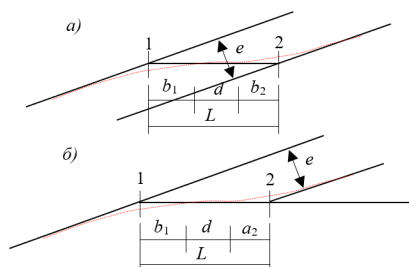


Рисунок 10 – Модификации расположения стрелочных переводов крестовинами навстречу (а) и одностороннее в попутном направлении (б)

При этом величина вставки d может рассчитываться как с учетом конструкции переводов, так и по величине междупутья, образуемого прижимающимися путями. Исходя из параметров схем укладки переводов на главных и приемоотправочных путях она должна быть не менее 12,5 м, на прочих – не менее 6,25 м, а в стесненных – не менее 4,5 м [2]. Для наименьшей величины вставки 4,5 м: $l_{1/11} = 4,5 + 2 \cdot 8,25 = 21$ м; $l_{1/9} = 4,5 + 2 \cdot 3,8475 = 12,195$ м (рис. 11).

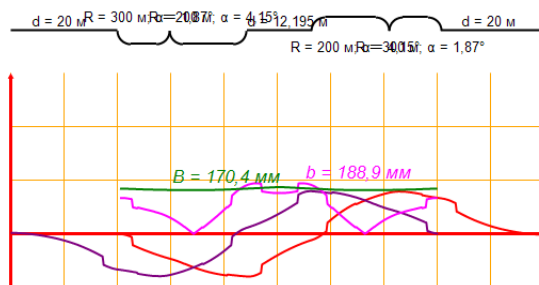


Рисунок 11 – Моделирование взаимодействия вагонов увеличенных размеров при расположении переводов марок 1/9 навстречу крестовинами с прямой вставкой 4,5 м

Как видно из рис. 11, применение прямой вставки минимальной допустимой длины 4,5 м [2] не обеспечивает безопасность и эффективность маневровой работы с вагонами увеличенных размеров между стрелочными переводами марки 1/9 ($\Delta = -18,5$ мм). По результатам моделирования маневров по такой схеме с переводами марки 1/11 установленный критерий технической совместимости выполняется ($\Delta = +52,2$ мм). Для вагонов массовых типов и переводов марки 1/9 условие также обеспечивается ($\Delta = +11,8$ мм).

Проверка других длин прямых вставок при встречном расположении крестовинами стрелочных переводов 1/9 показала, что для обеспечения безопасности маневров с вагонами увеличенных размеров длины вставки 6,25 м также недостаточно ($l = 6,25 + 2 \cdot 3,8475 = 13,945$ м, $\Delta = -7,2$ мм). Исходя из минимального междупутья 4,5–4,8 м [2] длина прямого участка для переводов марки 1/9, уложенных по схеме № 4: $d = 4,5 / \sin 6,3403 - 2 \cdot 15,812 = 9,12$ м; $l = 9,12 + 2 \cdot 3,8475 = 16,815$ м. Техническая совместимость в таком случае обеспечивается, $\Delta = 5,8$ мм. Таким образом длина вставки, определяемая минимальным междупутьем, обеспечивает безопасность маневровой работы с вагонами увеличенных размеров.

При попутном одностороннем расположении стрелочных переводов по схеме № 5 (рис. 9, б и 10, б) величины прямой вставки при минимальном междупутье 4,5 м [2] для марки 1/9 будет достаточно $d = 4,5 / \sin 6,3403 - (15,812 + 15,223) = 9,71$ м.

Результаты моделирования для модификации схемы № 5 (см. рисунок 10, б) показаны на рис. 12.

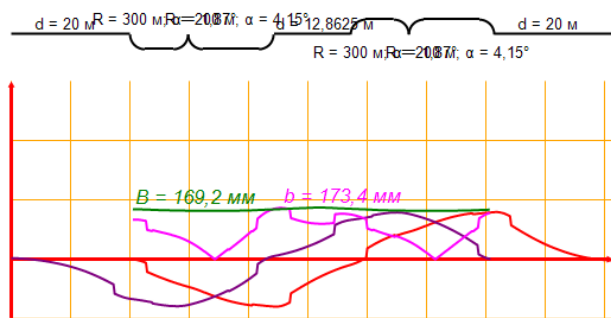


Рисунок 12 – Моделирование маневровой работы с вагонами увеличенных размеров при попутном одностороннем расположении переводов марки 1/9 с прямой вставкой 6,25 м

Как следует из рис. 12, применение стрелочных переводов марки 1/9 с длинами прямых вставок 4,5 м ($l = 4,5 + 2,765 + 3,8475 = 11,1125$ м) и 6,25 м ($l = 6,25 + 2,765 + 3,8475 = 12,8625$ м) не обеспечивает техническую совместимость ($\Delta_{4,5} = -4,2$ мм, $\Delta_{6,25} = -1,2$ мм). Поэтому необходимо использовать прямую вставку 12,5 м ($l = 12,5 + 2,765 + 3,8475 = 19,1125$ м), которая позволяет обеспечить эффективность взаимодействия ($\Delta = 11,4$ мм). Применение переводов марки 1/11 даже без применения вставок не создает условий для нарушения безопасности маневров ($l = 8,25 + 2,765 = 11,015$ м), $\Delta = 30,8$ мм.

Симметричные стрелочные переводы марки 1/6.

Как известно, при проектировании стрелочных горловин сортировочных парков рекомендуются к применению симметричные стрелочные переводы марки 1/6. Схемы № 1 и № 2 встречного расположения симметричных стрелочных переводов в отличие от обыкновенных образуют s-образные сочетания кривых при движении в любых направлениях (рис. 13).

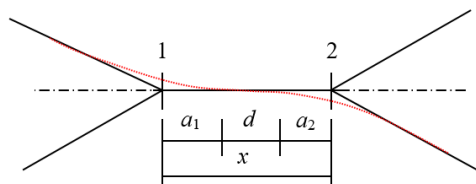


Рисунок 13 – Схема встречного расположения симметричных стрелочных переводов

Такая схема расположения применяется с прямой вставкой минимальной длины 5,26 м ($l = 5,26 + 2 \cdot 0,737 = 6,734$ м), необходимой для устройства предстрелочного участка [1]. Проверка этой схемы выявила значительное несоблюдение критерия технической совместимости с ваго-

нами массовых типов (рисунок 14, $\Delta = -37,9$ мм) и увеличенных размеров ($\Delta = -75,8$ мм).

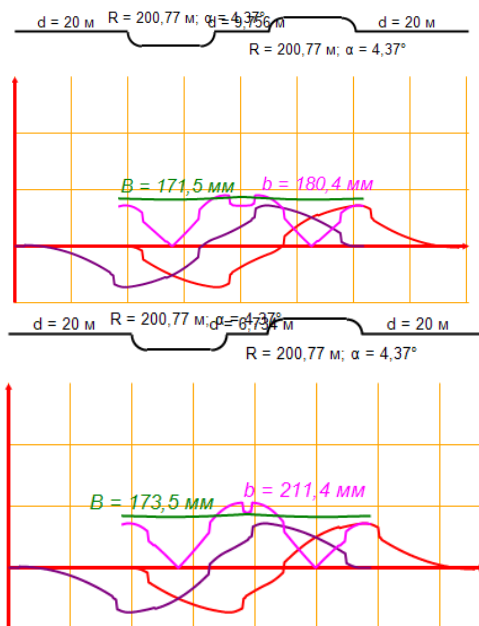


Рисунок 14 – Моделирование маневровой работы с вагонами массовых типов на встречно расположенных симметричных стрелочных переводах марки 1/6 с прямой вставкой 5,26 м

Схемы попутного расположения симметричных стрелочных переводов № 3 и № 5 образуют конструкцию, показанную на рис. 15. Такое размещение переводов также образует s-образную кривую по маршруту движения.

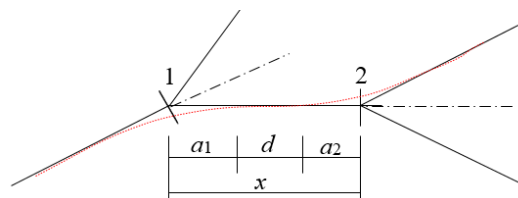


Рисунок 15 – Схема попутного расположения симметричных стрелочных переводов

При использовании симметричных стрелочных переводов марки 1/6, длина вставки должна быть не менее 7,46 м, на прочих путях – не менее 6,25 м, а в стесненных условиях – не менее 4,5 м [2]. Тогда расстояние между переводными кривыми при применении вставок: $d = 4,5$ м, $l = 2,175 + 4,5 + 3,725 = 10,4$ м; $d = 6,25$ м, $l = 2,175 + 6,25 + 3,725 = 12,15$ м; $d = 7,46$ м, $l = 2,175 + 7,46 + 3,725 = 13,36$ м. Моделирование маневров на симметричных переводах марки 1/6, предназначенных для приемоотправочных путей позволила установить, что безопасность взаимодействия обеспечивается только для вагонов массовых типов с применением вставки 6,25 м (рис. 16, $\Delta = +8,6$ мм).

При длине вставки 4,5 м несоответствие составляет $\Delta = -3,5$ мм. Для вагонов увеличенных

размеров рекомендуемые длины вставок не обеспечивают установленный критерий безопасности ($\Delta_{4,5} = -33$ мм, $\Delta_{7,46} = -9,8$ мм).

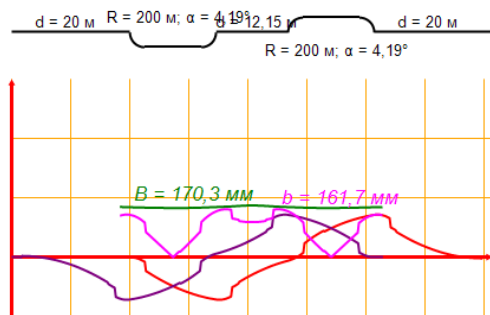


Рисунок 16 – Моделирование маневровой работы с вагонами массовых типов на попутно расположенных переводах марки 1/6 для ПОП с прямой вставкой 6,25 м

В горочных горловинах [1] длины вставок при попутной укладке симметричных переводов ограничиваются предстрелочным изолированным участком (23,97 и 23,85 м между центрами переводов типа Р50 и Р65 соответственно) и составляют для рельсов Р50 – 6,45 м, для Р65 – 6,34 м. При этом с учетом параметров перевода $l_{P50} = 0,737 + 6,453 + 2,566 = 9,756$ м и $l_{P65} = 0,737 + 6,338 + 2,451 = 9,526$ м. Условия взаимодействия, создаваемые для вагонов массовых типов показаны на рис. 17.

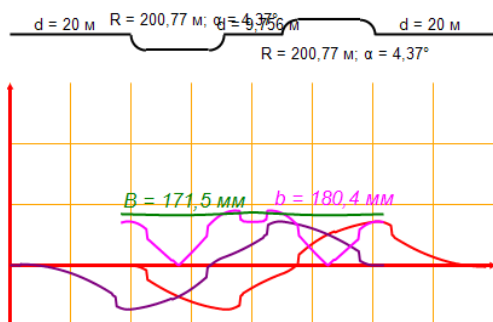


Рисунок 17 – Результаты моделирования маневров с вагонами массовых типов при попутном расположении симметричных стрелочных переводов марки 1/6 Р50

Как следует из рис. 17, показанные схемы не гарантируют безопасность маневров с расчетными типами подвижного состава ($\Delta_{ВМТ} = -8,9$ мм, $\Delta_{ВУР} = -40,2$ мм).

При размещении по такой же схеме комбинации стрелочных переводов 1/6–1/9 в соответствии с [1] должна применяться вставка длиной 5,7 м. Такая схема укладки не образует s-образную кривую, поэтому не создает ограничений при маневровой работе. Однако s-образное сочетание создается при укладке переводов в обратном порядке 1/9–1/6 (рис. 18). Расстояние между переводными кривыми при этом с учетом вставки 4,5 м $l = 3,8475 + 4,5 + 0,737 = 9,0845$ м.

Как видно из рис. 18, схема не гарантирует безопасность маневров ($\Delta = -14,9$ мм). Для вагонов увеличенных размеров риски еще больше ($\Delta = -46,9$ мм). При размещении симметричных стрелочных переводов марки 1/6 навстречу крестовинами с вставкой 4,5 м [2] $l_{\text{прям}} = 2,75 \cdot 2 + 4,5 = 10$ м. Учитывая результаты моделирования при попутном расположении симметричных стрелочных переводов марки 1/6 (рис. 17) можно сделать вывод, что данная схема не обеспечивает безопасность маневров с вагонами увеличенных размеров и массовых типов.

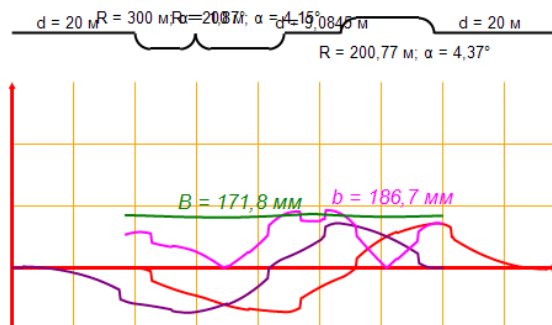


Рисунок 18 – Моделирование маневровой работы с вагонами массовых типов при комбинированном попутном расположении стрелочных переводов марок 1/9 и 1/6

Выводы

В табл. 1 представлены результаты комплексной оценки требований к проектированию путевого развития станций по условию обеспечения безопасности маневровой работы с подвижным составом установленных расчетных групп.

Как видно из табл. 1, безопасность и эффективность выполнения маневров с подвижным составом расчетных категорий в пределах рекомендованных схем укладки переводов не гарантирована. Так, более 70 % элементов не обеспечивают установленный критерий технической совместимости стрелочных горловин и подвижного состава [3]. При этом около половины схем не гарантируют безопасность маневров с вагонами массовых типов. Во всех таких случаях исследованные элементы стрелочных горловин образованы обратноподвижными кривыми с прямой вставкой или без нее, т. е. представляют собой s-образные кривые [10]. Учитывая особенности конструкции симметричных стрелочных переводов марки 1/6 (малая длина, наличие кривой при движении по любому пути), их применение вызывает наибольшие ограничения при маневрах.

Анализ требований к прямым вставкам в схемах взаимного размещения показал, что рекомендуемой их длины часто недостаточно для выполнения эффективной и безопасной маневровой работы. Анализ конструкций существующих

схем станций выявил наличие таких ситуаций в условиях Белорусской железной дороги. Для повышения безопасности и эффективности маневровой работы необходимо применение дополнительных рекомендаций [3], обеспечивающих улучшение инфраструктурных условий для эксплуатации грузовых вагонов различных типов в условиях БЧ.

Таблица 1 – Оценка соответствия требований к проектированию станций комплексному критерию технической совместимости

№ схе- мы	Схемы размещения	Нормы, м	Техническая совместимость с вагонами	
			массовых типов	увеличенных размеров
2.2	Схема укладки № 1			
2.2.1	1/11–1/11	$d = 0$ $d = 6,25$ – 12,5	обеспеч.	не обеспеч. обеспеч.
2.2.2	1/9–1/9	$d = 0$ $d = 6,25$ – 12,5	обеспеч.	не обеспеч. обеспеч.
2.3	Схема № 2 (1/11–1/11, 1/9–1/9)	$d = 0$ –12,5	обеспеч.	обеспеч.
2.4	Схема № 3 (1/11–1/11, 1/9–1/9)	$d = 0$ –12,5	обеспеч.	обеспеч.
2.5	Схема укладки № 4 (рис. 10, а)			
2.5.1	1/11 – 1/11	$d = 4,5$ –12,5	обеспеч.	обеспеч.
2.5.2	1/9–1/9	$d = 4,5$ –6,25 $d = 9,12$ – 12,5	обеспеч.	не обеспеч. обеспеч.
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.6.1	1/6 – 1/6	$d = 5,26$	не обеспеч.	не обеспеч.
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.7.1	1/6 – 1/6 (ПОП)	$d = 4,5$ $d = 6,25$ – 7,46	не обеспеч. обеспеч.	не обеспеч.
2.7.2	1/6 – 1/6 P50 1/6 – 1/6 P65	$d = 6,45$ $d = 6,34$	не обеспеч.	не обеспеч.
2.7.3	1/9 – 1/6	$d = 4,5$	не обеспеч.	не обеспеч.
2.8	Навстречу крестовинами			
	1/6 – 1/6	$d = 4,5$ $d = 6,25$	не обеспеч. обеспеч.	не обеспеч.

Литература

1. Муха, Ю. А. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.
2. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с.
3. Филатов, Е. А. Адаптация требований к стрелочным горловинам улучшенных эксплуатационных качеств для практического использования / Е. А. Филатов // Проблемы безопасности

на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 24-25 ноября 2022 г.) : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж.д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Ч. 1. – С. 74–76.

4. Филатов, Е. А. Безопасность взаимодействия путевой инфраструктуры железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / – Москва: РУТ (МИИТ), 2023. – М. : Издательство Перо, 2023. – С.644–654.

5. ГОСТ 22235-2010 с изменениями. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ / Межгосударственный стандарт. – Стандартинформ, М., 2010.

6. Филатов, Е. А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е. А. Филатов // Сборник научных трудов Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна «Транспортные системы и технологии перевозок». – Д.: ДНУЖТ, 2017. – Вып. 13. – С. 78–83.

7. Филатов, Е. А. Обоснование параметров стрелочных горловин для обеспечения технической совместимости с подвижным составом / Е. А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября 2020 г.) : в 5 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – Ч. 3. – С. 70–72.

8. Филатов, Е. А. Расчет параметров путевых структур железнодорожных станций по критерию безопасности / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2017. – Вып. 14. – С. 86–94.

9. Каталог-справочник стрелочной продукции для железных дорог / Новосибирский стрелочный завод, 2007. – 172 с.

10. Филатов, Е. А. Влияние s-образных кривых на безопасность маневровой работы / Е. А. Филатов // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 387–391.

FILATOV Y.A., Senior Lecturer,
Associate Professor of the Department «Operational management and labor protection»
E-mail: filatoff.ea@yandex.by

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Received 30 September 2024

SAFETY OF SHUNTING OPERATIONS IN THE SWITCH AREAS OF RAILWAY STATIONS

One of the most stable trends in the development of rail transport is the increase in the load capacity and capacity of freight cars, which leads to a proportional increase in their length (on average, by 1 m every 10 years). This leads to a corresponding increase in the displacement of the coupling axes of cars in curves relative to the track axis and, accordingly, to a decrease in the safety of shunting operations. At the same time, changing the track parameters to compensate for this phenomenon is often difficult and is not done. This is especially true for areas where turnouts are located. The article analyzes the applied schemes for the mutual laying of turnouts and establishes cases that do not ensure technical compatibility with rolling stock. Research has established that the worst operating conditions are created when adjacent switches form s-shaped curves, especially without an insert or with a minimum insert. This situation is more typical for symmetrical turnouts of the 1/6 brand. As a result, the parameters for the location of turnouts of various types were obtained, ensuring the efficiency of shunting operations with freight cars. The application of the research results will solve a number of problems of technical compatibility of rolling stock and mutual arrangement of turnouts (in terms of ensuring automatic coupling and movement of cars in coupling), thereby increasing the safety and efficiency of railway stations.

Keywords: oversized cars, mass-produced cars, schemes of mutual placement of switches, technical compatibility, automatic coupling, movement in coupling.

References

1. Mukha, Yu. A. Handbook on the application of rules and norms for the design of sorting devices / Yu. A. Mukha, L. B. Tishkov, V. P. Sheikin. – M. : Transport, 1994. – 220 p.
2. Rules and technical standards for the design of stations and nodes on railways of 1520 mm/M gauge in the Russian Federation. – M. : Technoinform, 2001. – 255 p.
3. Filatov, E. A. Adaptation of requirements to switch necks of improved operational qualities for practical use / E. A. Filatov // Problems of safety in transport : materials of the XII International Scientific and Practical Conference (Gomel, November 24-25, 2022) : at 2 ch. / M-in transp. and the communications of the Rep. Belarus, Bel. zh.d., Byelorussian State University of Transport ; under the general editorship of Yu. I. Kulazhenko. Gomel : BelGUT, 2022. – ch. 1. – pp. 74–76.
4. Filatov, E. A. Safety of interaction of track infrastructure of railway stations and rolling stock / E. A. Filatov // Intelligent transport systems: materials of the II International Scientific and Practical Conference / – Moscow: RUTH (MIIT), 2023. – Moscow : Pero Publishing House, 2023. – pp. 644–654.
5. GOST 22235-2010 with changes. Freight wagons of mainline railways with a length of 1520 mm. General requirements for safety during the production of loading and unloading and shunting operations / Intergovernmental standard. – Standartinform, M., 2010.
6. Filatov, E. A. Improving the safety of railway stations / E. A. Filatov // Collection of scientific papers of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan «Transport systems and transportation technologies». – D.: DNUZHT, 2017. – Issue. 13. – pp. 78–83.
7. Filatov, E. A. Substantiation of the parameters of switch necks to ensure technical compatibility with rolling stock / E. A. Filatov // Problems of safety in transport : materials of the X International Scientific and Practical Conference (Gomel, November 26–27, 2020) : at 5 ch. / M transp. and Communications Rep. Belarus, Bel. zh. d., Byelorussian State University transp. ; under the general editorship of Yu.I. Kulazhenko. Gomel : BelGUT, 2020. – Ch. 3. – pp. 70–72.
8. Filatov, E. A. Calculation of the parameters of the way structures of railway stations according to the safety criterion / E. A. Filatov // Transport

systems and technologies of transportation : collection of scientific tr. Dnepropetr. national. University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – Dnipro : DNUZHT, 2017. – Vol. 14. – pp. 86–94.

9. Directory of switch products for railways / Novosibirsk Switch Plant, 2007. – 172 p.

10. Filatov, E. A. The influence of s-shaped curves on the safety of shunting work /

E. A. Filatov // Tikhomirov readings: Engineering technology of the transportation process : materials of the International Scientific and Practical Conference / Moscow transp. and Communications Rep. Belarus, Belarus. state University transp. ; under the general editorship of A. A. Yerofeyev. Gomel : BelGUT, 2021. – pp. 387–391.

УДК 656.13.08

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: bsw001@gmail.com

ЗАЙЦЕВА И. С.
инженер кафедры «Транспортные системы и технологии»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 10.06.2024

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТЕЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Безопасность пересечений и примыканий загородных автомобильных дорог является значительной проблемой для инженеров и исследователей во всем мире. Несмотря на более низкую интенсивность движения по сравнению с городскими районами, на загородные дороги приходится непропорционально большое количество смертельных случаев и тяжелых травм. Это несоответствие может быть связано с различными факторами, включая более высокую скорость транспортных средств, ограниченную видимость, отсутствие в ряде случаев необходимых дорожных знаков и освещения, а также особенности поведения водителей на загородных дорогах. В Республике Беларусь количество только ДТП с пострадавшими на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог составляет около 10 % от общего числа на протяжении длительного времени. Следовательно, оценка и смягчение опасностей, связанных с такими участками, являются критически важными направлениями действий владельцев дорог. Пересечения и примыкания автомобильных дорог представляют собой сложную среду, где сходятся транспортные средства, пешеходы, велосипедисты и даже животные, создавая потенциальные точки конфликта. Оценка рисков безопасности, связанных с этими пересечениями, является многогранной задачей, которая требует исчерпывающего понимания факторов, способствующих авариям, и развития эффективных противодействий. На протяжении многих лет исследователи и практики предложили различные подходы для оценки эффективности безопасности пересечений загородных дорог, начиная от традиционных методов, основанных на исторических данных о ДТП, до более продвинутых технологий. Задачей данной статьи является анализ некоторых существующих подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог. Изучение сильных сторон и ограничений каждого метода позволит определить передовые практики и предложить рекомендации по улучшению процесса оценки безопасности.

Ключевые слова: Безопасность дорожного движения; пересечения дорог; оценка опасности; статистика ДТП; современные методы; прощающие дороги.

Введение

Безопасность пересечений и примыканий загородных автомобильных дорог является значительной проблемой для инженеров и исследователей по всему миру. Несмотря на более низкую интенсивность движения по сравнению с городскими районами, на загородные дороги приходится непропорционально большое количество смертельных случаев и тяжелых травм. Это несоответствие может быть связано с различными факторами, включая более высокую скорость транспортных средств, ограниченную видимость, отсутствие в ряде случаев необходимых дорожных знаков и освещения, а также особенности поведения водителей на загородных дорогах. В Республике Беларусь в течение уже длительного времени количество только ДТП с пострадавшими на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог составляет около 10% от общего количества. Следовательно, оценка и смягчение опасностей, связанных с такими участками, являются критически важными направлениями действий владельцев дорог.

Пересечения и примыкания автомобильных дорог – это сложная среда, где сходятся транспортные средства, пешеходы, велосипедисты и даже животные, создавая потенциальные точки конфликта. Оценка рисков безопасности, связанных с этими пересечениями, является многогранной задачей, которая требует исчерпывающего понимания факторов, способствующих авариям, и развития эффективных противодействий. На протяжении многих лет исследователи и практики предложили различные подходы для оценки эффективности безопасности пересечений загородных дорог, начиная от традиционных методов, основанных на исторических данных о ДТП до более продвинутых технологий.

Нашей задачей является анализ некоторых существующих подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог. Изучение сильных сторон и ограничений каждого метода позволит определить передовые практики и предложить рекомендации по улучшению процесса оценки безопасности.

Оценка опасности пересечений: традиционные подходы на основе статистики ДТП

Традиционно, оценка опасности пересечений дорог основывалась на анализе исторических данных о ДТП. Этот подход предполагает, что будущая частота и тяжесть аварий будет соответ-

ствовать прошлым тенденциям, если условия на дороге останутся неизменными. В этом разделе мы рассмотрим основные методы, используемые в рамках традиционного подхода, а также их преимущества и ограничения.

Один из наиболее распространенных методов – это сравнение частоты ДТП на конкретном пересечении со средними показателями для подобных пересечений в регионе. Этот метод, известный как метод ранжирования, позволяет выявить наиболее опасные пересечения и наметить приоритетные меры по их улучшению [1].

Метод ранжирования является широко используемым подходом при оценке опасности дорожной инфраструктуры. Суть метода заключается в вычислении индекса опасности для каждого пересечения, который представляет собой отношение фактического количества ДТП к ожидаемому количеству, вычисленному на основе средних региональных показателей.

Для начала проводится классификация пересечений по типу (пересечение в одном уровне, круговое движение, развязка и т. д.), значению и категории дорог (автомагистраль, магистральная улица, местная дорога и т. д.) и уровню интенсивности движения. Затем, на основе статистики ДТП за определенный период (обычно 3–5 лет), вычисляется среднее количество ДТП для каждой группы пересечений.

Далее, для каждого конкретного пересечения вычисляется индекс опасности (I_o). Этот показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_o = A_f / A_o, \quad (1)$$

где A_f – фактическое количество ДТП на пересечении за рассматриваемый период;

A_o – ожидаемое количество ДТП, вычисленное на основе средних региональных показателей для группы, к которой относится пересечение.

Полученные значения индекса опасности используются для ранжирования пересечений. Чем выше значение I_o , тем выше уровень опасности пересечения. Таким образом, метод ранжирования позволяет выявить наиболее опасные пересечения и определить приоритетные меры по их улучшению.

Одной из разновидностей метода ранжирования является метод АНР (процесс аналитической иерархии) [2, 3]. В нем методология ранжирования опасных мест безопасности дорожного движения включает в себя оценку опасных условий

безопасности на пересечениях как один из ключевых факторов. Оценка безопасности пересечения может включать анализ таких факторов, как объем трафика, скорость транспортных средств, геометрическая конструкция пересечения, наличие устройств управления движением (например, сигналы, знаки), условия видимости и исторические данные об аварии. Рассматривая эти факторы, эксперты могут оценить уровень опасности или риска, связанного с конкретным пересечением. Кроме того, метод можно использовать для определения относительной важности факторов безопасности на пересечениях и соответствующего назначения веса. Подход помогает количественно определить условия безопасности на пересечениях и может способствовать их ранжированию на основе их уровня опасности или опасности.

Еще одну разновидность метода ранжирования предложили в Чехии [4]. Здесь также предлагается дополнительный учет факторов, связанных с перекрестками, таких как наличие технических средств организации дорожного движения, способ доступа на дорогу и др. Оценивая эти факторы риска и назначая оценки тяжести риска, метод позволяет оценить опасность пересечений с точки зрения ДТП и тяжести аварий.

Несмотря на простоту и доступность метод ранжирования имеет определенные ограничения. Он не учитывает влияние отдельных факторов дорожной среды (например, освещение, ширина проезжей части, наличие пешеходных переходов и т. д.) на частоту ДТП. Кроме того, метод ранжирования может неточно оценивать уровень опасности пересечений с низким трафиком, так как в этом случае статистика ДТП может быть недостаточно представлена.

Метод оценки опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа является одним из наиболее эффективных и известных инструментов в области безопасности дорожной инфраструктуры. Он позволяет оценить вклад отдельных факторов, таких как скорость движения, видимость, наличие освещения и т. д., в общую опасность пересечения [5, 6].

Регрессионный анализ является статистическим методом, который позволяет оценить взаимосвязь между зависимой переменной (в нашем случае - числом аварий на пересечении) и одним или несколькими факторами (независимыми переменными). В рамках данного метода строится регрессионная модель, которая описывает зависимость числа аварий от значений факторов.

Эмпирический Байесовский метод – это статистический метод, который можно использовать для оценки безопасности на пересечениях дорог [7]. Метод объединяет исторические данные об авариях на конкретном пересечении с данными с похожих пересечений, чтобы обеспечить более точную оценку безопасности пересечения. Учет таких факторов, как объем движения, конструкция пересечения, исторические данные об аварии может повысить точность оценки безопасности на пересечениях и помочь идентифицировать участки для потенциальных улучшений безопасности.

Одним из основных преимуществ регрессионного анализа является возможность оценить вклад каждого фактора в общую опасность пересечения. Это позволяет выявить наиболее значимые факторы и разработать наиболее эффективные меры по повышению безопасности дорожного движения.

При оценке опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа используются следующие факторы:

1. Скорость движения. Чем выше скорость движения, тем выше риск возникновения аварий на пересечении.

2. Видимость. Недостаточная видимость может привести к тому, что водители не смогут вовремя заметить другие транспортные средства или пешеходов, что может привести к аварии.

3. Наличие освещения. Дорожное освещение позволяет улучшить видимость на пересечении в темное время суток, что снижает риск возникновения аварий.

4. Тип пересечения. Существует несколько типов пересечений (перекресток, Т-образное пересечение, круговое движение и т. д.), каждый из которых имеет свои особенности и риски.

5. Интенсивность движения. Чем выше интенсивность движения, тем выше риск возникновения аварий на пересечении.

Для оценки вклада каждого фактора в общую опасность пересечения строится регрессионная модель, в которой число аварий является зависимой переменной, а факторы – независимыми переменными. Значения коэффициентов регрессионной модели показывают, насколько сильно каждый фактор влияет на число аварий.

Например, в одном из исследований было показано, что увеличение скорости движения на 1 км/ч приводит к увеличению числа аварий на пересечении на 2 % [8]. Это говорит о том, что скорость движения является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на безопасность пересечений.

Не менее значимым фактором является расстояние видимости, которое в случае пересечений и примыканий определяется по широко известной формуле:

$$S_1 = \frac{v \cdot t_p}{3,6} + \frac{K_3 \cdot v^2}{254 \cdot (\varphi_{пр} + i + f_v)} + l_0, \quad (2)$$

где t_p – время реакции водителя и включения тормозов;

v – расчетная скорость движения автомобиля, принимаемая в зависимости от категории пересекающихся или примыкающих дорог, км/ч;

K_3 – коэффициент, учитывающий эффективность срабатывания тормозов ($K_3 = 1,2$ – для легковых автомобилей; $K_3 = 1,3–1,4$ – для грузовых автомобилей, автопоездов и автобусов);

$\varphi_{пр}$ – коэффициент продольного сцепления, который зависит от состояния покрытия;

i – продольный уклон дороги;

f_v – коэффициент сопротивления качению;

l_0 – зазор безопасности, позволяющий остановиться не вплотную к препятствию, $l_0 = 5–10$ м.

Интенсивность движения также немаловажна при оценке опасности пересечения. Однако использование этого показателя в регрессионном анализе в условиях низкой интенсивности движения, что характерно для значительной части автомобильных дорог Республики Беларусь, может исказить результат. При низкой интенсивности движения при оценке опасности начинают играть роль психологические факторы.

Таким образом, метод оценки опасности пересечений автомобильных дорог на основе регрессионного анализа позволяет выявить наиболее значимые факторы и разработать наиболее эффективные меры по повышению безопасности дорожного движения.

Результаты регрессионного анализа могут быть использованы для разработки моделей предсказания риска ДТП, которые, в свою очередь, могут помочь транспортным инженерам и планировщикам принимать более обоснованные решения о необходимости внедрения мер по повышению безопасности.

Одним из широко распространенных методов анализа опасности пересечений является так называемый систематический подход [9]. Анализ при использовании этого подхода основывается на исследовании «типовых» аварий и проверенных контрмер, выбранных на основе этих «типовых» аварий. При использовании этого метода из общего количества ДТП

выбираются типовые аварии. Места, где происходят эти виды ДТП и места с аналогичными геометрическими характеристиками систематически улучшаются с помощью низкочастотных инженерных мероприятий.

Другое применение систематического подхода начинается с определения недорогостоящих и эффективных контрмер, улучшающих безопасность дорожного движения. После того, как базовый набор контрмер определен, анализируются данные о ДТП для выбора мест, где контрмеры могут быть внедрены экономически эффективно. Оценки последствий внедрения могут быть сделаны с точки зрения затрат на применение мероприятий и выгод за счет снижения аварийности.

К преимуществам системного подхода относятся:

1. Широкий эффект. Систематический подход может повлиять на проблемы безопасности в большом количестве мест на всей дорожной сети.

2. Предотвращение типовых ДТП. С использованием метода возможно повысить безопасность в тех местах, где аварии еще не произошли, но их характеристики схожи с местами с уже произошедшими ДТП (например, геометрические характеристики, интенсивность движения).

3. Экономичность. Внедрение недорогих решений в рамках всей сети дорог может быть более экономически оправданным подходом к повышению безопасности движения.

4. Снижение потребности в данных. Систематический подход может использоваться без подробной статистики ДТП для конкретных мест.

К недостаткам систематического подхода относится то, что оправдать предлагаемые мероприятия может быть сложно. Поскольку этот подход не всегда учитывает статистику ДТП, может быть сложно оправдать улучшения в тех местах, где ничего не произошло. В связи с этим, специалисты по безопасности дорожного движения должны будут обосновывать свои предложения для лиц, принимающих решение о выделении финансирования.

Не менее распространенным является анализ местоположения ДТП и выявление участков их концентрации [9]. Этот подход основывается исключительно на анализе статистики дорожно-транспортных происшествий. Поскольку на некоторых участках сети дорог количество ДТП может быть значительно выше, чем в большинстве других, важно выявить эти места и проанализировать их соответствующим образом.

К преимуществу подхода по выявлению участков концентрации ДТП относится то, что он сосредоточен непосредственно на местах с произошедшими ДТП и улучшает такие места.

К недостаткам подхода относятся:

- предположение, что прошлое равно будущему. Этот подход предполагает, что места концентрации ДТП по-прежнему иметь одинаковое количество и тип аварий в будущем;
- минимальная общая выгода. Этот подход часто фокусируется на конкретных местах, и из-за этого трудно оказать значительное влияние на всю сеть дорог.

Еще одним методом анализа опасности пересечений является комплексный подход [9]. Этот подход вводит концепцию 4Е: Engineering, Enforcement, Education, Emergency Medical Services (Инженерия, правоприменение, образование, скорая медицинская помощь). При таком подходе признается, что не во всех местах можно решить проблему исключительно за счет улучшения инфраструктуры и для заметного улучшения безопасности пересечения часто требуется использование дополнительных методов. Например, могут быть выявлены некоторые перекрестки, на которых имеют место частые нарушения правил дорожного движения, для которых соответствующей контрмерой будет являться целенаправленное правоприменение. Так, наиболее распространенными нарушениями на перекрестках являются превышение скорости, нарушение очередности проезда, агрессивное вождение, неисполнение ремней безопасности. При выявлении мест, в которых имеются такие нарушения целесообразно привлечение правоохранительных органов и введение соответствующих мер (например установка дорожных знаков и камер фотофиксации), чтобы уменьшить вероятность будущих нарушений правил дорожного движения и связанных с ними аварий. Усилия в области образования и информационно-разъяснительной работы должны дополнять усилия по обеспечению соблюдения ПДД, с тем чтобы повысить эффективность каждой из мер.

Новозеландские исследователи предлагают количественно оценивать опасность пересечений и примыканий с использованием индекса безопасности [10]. Метод является одним из инструментов новозеландской системы RISA (Road Infrastructure Safety Assessment) – (Оценка безопасности дорожной инфраструктуры). При использовании метода вводится понятие базового перекрестка, который имеет следующие характеристики:

- скорость 85 %-ной обеспеченности на главной дороге составляет 95 км/ч;
- установлены все необходимые знаки приоритета;
- расстояния видимости во всех направлениях соответствует нормативным требованиям или превосходят их;
- расположен на прямом участке дороги или участке с радиусом более 600 м;
- не находится на вершине кривой и не имеет подходов с уклонами более 6%;
- переходно-скоростные полосы отсутствуют;
- пересечение не канализировано;
- в случае Т-образного примыкания установлен знак «Направление поворота» (аналог 1.31.3 в Республике Беларусь);
- состояние дорожного покрытия отличное, дорожная разметка в хорошем состоянии;
- серьезных опасностей нет в радиусе 15 м от перекрестка во всех направлениях;
- искусственное освещение отсутствует.

Индекс безопасности, разработанный для городских перекрестков, включает в себя так называемый показатель воздействия и показатель меры риска. Индекс безопасности в данном случае напрямую связан с риском ДТП. Показатель воздействия учитывает как интенсивность движения, так и скорость движения через перекресток. Мера риска называется индексом риска и это множитель, который применяется к прогнозу аварийности базовой модели для получения значения индекса безопасности. Индекс риска состоит из ряда факторов риска, которые учитывают различные особенности перекрестка, такие как видимость. Эти факторы используются только тогда, когда характеристики перекрестка отличаются от характеристик базового перекрестка, в противном случае они равны нулю.

Несмотря на широкое распространение и относительную простоту использования, традиционные подходы к оценке опасности пересечений на основе исторических данных о ДТП имеют ряд ограничений. Во-первых, они реагируют на аварии, а не предотвращают их, то есть меры по улучшению безопасности принимаются только после того, как произошло определенное количество ДТП. Во-вторых, эти подходы не учитывают конфликтное взаимодействие промахи и другие инциденты, которые не привели к аварии, но могли бы свидетельствовать об опасности пересечения. В-третьих, они не всегда адекватно отражают реальную ситуацию, так как исторические данные о ДТП могут быть неполными или искаженными.

Подходы на основе косвенных показателей

Косвенные показатели – это индикаторы, которые косвенно отражают риск ДТП, но не требуют наличия фактических аварий для их измерения. Они могут включать в себя такие показатели, как конфликтное взаимодействие, критические события, скорость движения, временные и пространственные зазоры между транспортными средствами и другие факторы.

Д. В. Капский методы прогнозирования и оценки аварийности, в зависимости от реализации и степени опасности дорожно-транспортной ситуации разделяет на статистические, экспертные, конфликтных ситуаций и потенциальной опасности (группа методов) [11, 12, 13].

Одной из разновидностей косвенных методов оценки риска возникновения ДТП является подход, учитывающий наличие конфликтных точек. Такой подход в свое время был отражен в ВСН 25-86, а с его отменой закреплён практически без изменений в российском ОДМ 218.4.005-2010. В соответствии с этими документами, на пересечениях в одном уровне безопасность движения зависит от направления и интенсивности пересекающихся потоков, числа точек пересечения, разветвлений и слияния потоков движения - конфликтных точек, а также от расстояния между этими точками. Чем больше автомобилей проходит через конфликтную точку, тем больше вероятность возникновения в ней дорожно-транспортного происшествия.

Один из наиболее распространенных методов – это анализ видеозаписей с пересечений для выявления конфликтных зон и критических событий [14].

Этот метод позволяет оценить частоту и характер потенциально опасных ситуаций, которые могут привести к ДТП, и идентифицировать факторы, способствующие их возникновению. Однако он требует значительных ресурсов для сбора и обработки видеоданных, а также может быть чувствителен к субъективности экспертов, проводящих анализ.

Другой метод, основанный на косвенных мерах безопасности, это использование данных с датчиков и систем мониторинга трафика, таких как радары, лидары и камеры. Эти данные могут быть использованы для оценки скорости движения, временных и пространственных зазоров между транспортными средствами, а также других параметров, характеризующих безопасность пересечения. Преимуществом этого метода является объективность и высокая точность измерений, однако он также требует значительных инвестиций в оборудование и инфраструктуру.

Наконец, существует гибридный подход, сочетающий использование видеоданных и данных с датчиков для комплексной оценки опасности пе-

ресечений. Этот подход позволяет преодолеть некоторые ограничения отдельных методов, однако он требует более сложной системы сбора и обработки данных.

Подходы на основе косвенных показателей могут давать достаточно хорошие результаты в условиях городов с большой интенсивностью движения на пересечениях и примыканиях. Однако на загородных дорогах при низкой интенсивности движения, что характерно для Республики Беларусь, особенно для дорог категорий II и ниже, большинство косвенных показателей не будут эффективными. Исключение составляет, разве что, экспертный метод, который, впрочем, можно адаптировать для любых условий и ситуаций.

Перспективы развития подходов к оценке опасности пересечений автомобильных дорог

Развитие передовых технологий и искусственного интеллекта открывает новые возможности для улучшения безопасности пересечений автомобильных дорог.

Одно из таких направлений - использование систем V2X, которые позволяют обмениваться информацией между транспортными средствами, инфраструктурой и другими участниками дорожного движения. Эти системы могут предоставлять водителям предупреждения о потенциально опасных ситуациях, а также способствовать оптимизации управления трафиком на пересечениях [15].

Коммуникации V2X имеют большой потенциал для повышения безопасности дорожного движения и пассажиров и рассматриваются как важная часть наиболее продвинутых интеллектуальных транспортных систем (ИТС). В настоящее время имеется уже несколько научно-исследовательских проектов по всему миру, которые изучали и изучают различные аспекты связи V2X. Некоторые из этих проектов посвящены конкретным вопросам использования связи V2X для обеспечения безопасности на перекрестках (безопасность на перекрестках на основе связи), поскольку перекрестки являются наиболее сложными условиями движения, где часто происходят аварии с травмами и смертельным исходом.

Во многих странах V2X сейчас зрелой, недорогой и широкодоступной технологией. Используя коммуникации V2X транспортное средство может общаться с другими транспортными средствами по соседству, чтобы поддерживать приложения для безопасности, такие, например, как предупреждение о возможном столкновении. Для безопасности пересечения коммуникация V2X может использоваться в качестве технологии, способствующей комбинированию системы светофоров, датчиков в транспортных средствах и датчиков на основе инфраструктуры [16].

Другое перспективное направление – применение искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших объемов данных, связанных с безопасностью пересечений. Эти технологии могут помочь выявить скрытые закономерности и факторы риска, а также разработать более эффективные стратегии по повышению безопасности [17].

Наконец, развитие систем автономного управления транспортными средствами может значительно изменить подходы к оценке опасности пересечений. Автономные транспортные средства могут более эффективно взаимодействовать друг с другом и с инфраструктурой, что позволит снизить риск ДТП на пересечениях.

Особенности учета расстояния видимости пересечения в условиях «прощающих» дорог

Выше мы уже отметили, что расстояние видимости является одним из важнейших факторов, влияющих на безопасность пересечений.

Дорожные службы должны стремиться к тому, чтобы обеспечивать в районе пересечений и примыканий видимость не хуже определенной по (2). Если невозможно обеспечить такое расстояние видимости, необходимо приложить все усилия для обеспечения видимости на расстоянии остановочного пути, определяемого следующим образом:

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_A + \frac{V_A^2}{2j}, \text{ м}, \quad (3)$$

где t_1 – нормативное время реакции водителя, с;
 t_2 – время запаздывания тормозного привода, с;
 t_3 – время нарастания замедления, с;
 V_A – скорость автомобиля, м/с;
 j – установившееся замедление автомобиля при торможении, м/с².

Следует отметить, что во многих зарубежных странах формула для вычисления расстояния видимости несколько отличается от (2). Чаще всего можно она выглядит следующим образом:

$$SSD = \frac{R_T}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (d + 0,01 \cdot \alpha)}, \quad (4)$$

где SSD – расстояние видимости для остановки, м (от Stopping Sight Distances);

R_T – время реакции водителя, с;

V – скорость движения, км/ч;

d – коэффициент замедления, зависит от величины коэффициента продольного сцепления;

α – продольный уклон участка дороги, %.

Существуют различные подходы к выбору времени реакции водителя. В Республике Беларусь оно принимается дифференцированно в зависимости от общей характеристики дорожно-транспортной ситуации с типичными вариантами [18] и может изменяться от 0,6 до 1,4 с в дневное время.

В Северной Америке, Австралии, Новой Зеландии время реакции в (4) чаще всего принимается равным 2,5 с, PIARC использует значение 1,8 с.

Если при изменении скорости от 60 км/ч до 120 км/ч провести расчеты по (2), (3) с учетом рекомендуемых в нашей стране значений констант, а также по (4), приняв в этой формуле время реакции 1,8 с, то для горизонтального сухого участка, для легкового автомобиля получим следующие значения видимости (рис. 1).



Рисунок 1 – Сравнение расстояний видимости для остановки на пересечении

Из рис.1 видно, что остановочный путь и SSD отличаются незначительно, тогда как расстояние видимости заметно больше.

Если принять во внимание, что конкретное значение видимости на пересечении будет влиять на оценку безопасности с использованием нечеткой логики, о чем говорилось нами ранее [19], возникает вопрос о том, на какое конкретно расстояние следует ориентироваться при назначении диапазонов изменения термов лингвистических переменных [19].

В последнее время в условиях широкого распространения в мире современных концепций управления безопасностью дорожного движения, таких как «Безопасная система» начинает распространяться также подход «дорога, прощающая ошибки», или просто «прощающая» дорога. В связи с этим пересматривается также и подход к оценке видимости.

В соответствии с исследованиями, проведенными PIARC, вместо долей секунды (простой стимул – реакция) среднестатистическому водителю требуется не менее 4–6 секунд, чтобы адаптироваться к новым условиям во-

ждения при внезапном изменении дорожной ситуации (восприятие – время принятия решения) [20, 21].

При движении со скоростью 100 км/ч за это время (с учетом времени торможения) водители преодолевают расстояние до 300 м. «Прощающая» дорога даст водителям необходимое время для адаптации к новым и неожиданным ситуациям и позволит безопасно реорганизовать свои программы вождения. Именно поэтому недостаточно предоставить водителю участок, обеспечивающий время реакции 2–3 с (расстояние остановки с участком реагирования и маневра торможения).

На дороге также должен быть обеспечены участки упреждения и реагирования продолжительностью минимум 2–3 секунды каждый для выявления неожиданной или необычной ситуации, требующей более сложных решений. В более сложных ситуациях или в ситуациях, связанных с более высокими скоростями, рекомендуется также предусмотреть участок предварительного предупреждения с соответствующими знаками [22]. Таким образом, например, к расстоянию, определенному по (3) или (4) при скорости 100 км/ч необходимо добавить 2 участ-

ка по 56–84 м (2–3 с со скоростью 28 м/с). Назовем полученные расстояния соответственно «прощающее» расстояние для остановки и «прощающий» SSD. Графически это представлено на рис. 2 и 3. На рисунках также представлено расстояние видимости, определенное по (2).

Анализ полученных результатов позволяет заключить следующее. Определенное по зарубежным методикам расстояние SSD с добавлением двух участков по 3 с (упреждения и реагирования) вплотную приближается к значению расстояния видимости, определенному по формуле (2). Это говорит о хорошем соответствии определенного таким способом расстояния подходу «дорога, прощающая ошибки». Остановочный путь, рассчитанный по (3) не обеспечивает возможности безопасно остановиться, если ориентироваться на концепцию «прощающей» дороги. Минимальный безопасный остановочный путь в этом случае будет определяться по (3) с добавлением 2 участков по 2 с. Пример представлен на рис. 4. Пересечение справа не видно на расстоянии 83 м, что было определено анализом видеоизображения и подтверждено измерениями в программе Google Earth.

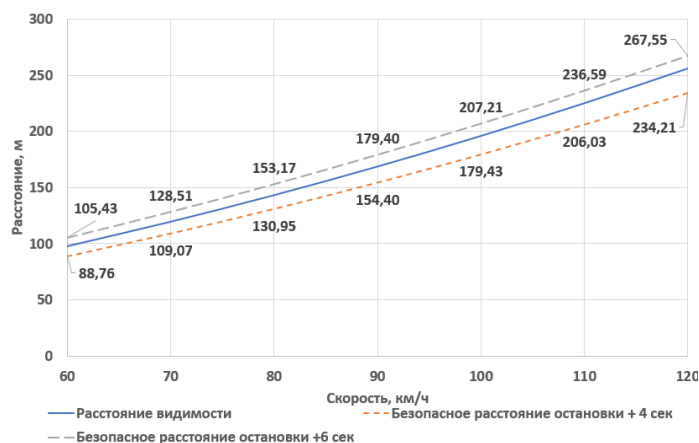


Рисунок 2 – Сравнение расстояния видимости и «прощающего» расстояния для остановки

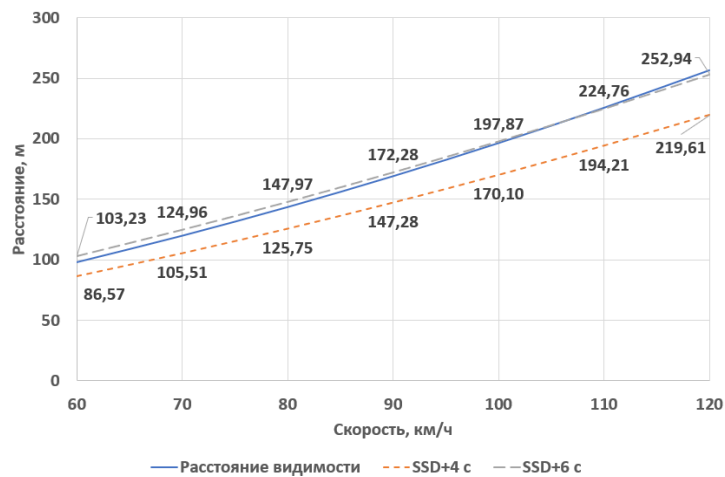


Рисунок 3 – Сравнение расстояния видимости и «прощающего» SSD



Рисунок 4 – Примыкание не видно в 83 метрах. Неожиданное торможение и высокая скорость вызовут наезд сзади

При скорости движения 78 км/ч, как у автомобиля на рис. 4, остановочный путь составит 83,11 м, что не позволит безопасно остановиться в случае появления препятствия на пересечении.

Заключение

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Традиционные подходы к оценке опасности пересечений имеют ряд ограничений, связанных с реактивным подходом к реагированию на ДТП, неполнотой данных и отсутствием учета конфликтного взаимодействия и других потенциально опасных ситуаций.

2. Подходы, основанные на косвенных показателях, позволяют преодолеть некоторые из этих ограничений, однако они требуют значительных ресурсов для сбора и обработки данных, не все из них подходят для условий низкой интенсивности движения.

3. Перспективные технологии, такие как системы V2X, искусственный интеллект и автономные транспортные средства, открывают новые возможности для улучшения безопасности пересечений дорог.

4. Учитывая современные подходы к обеспечению безопасности дорожного движения при оценке опасности пересечений автомобильных дорог следует ориентироваться на концепцию «прощающей» дороги. В связи с этим особое внимание необходимо уделять обеспечению необходимого расстояния видимости.

С учетом изложенного выше можно сформулировать следующие перспективные направления исследований в области безопасности дорожного движения:

1. Сочетать использование традиционных и косвенных мер для комплексной оценки опасности пересечений.

2. Инвестировать в развитие и внедрение передовых технологий, таких как системы V2X, искусственный интеллект и автономные транспортные средства, для улучшения безопасности пересечений автомобильных дорог.

3. Проводить дальнейшие исследования в области разработки и применения новых методов и технологий для оценки и повышения безопасности пересечений автомобильных дорог.

Таким образом, комплексный подход, включающий использование различных методов и технологий, позволит более эффективно оценивать и улучшать безопасность пересечений загородных автомобильных дорог, снижая риск ДТП и сохраняя жизни и здоровье участников дорожного движения.

Литература

1. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasal1108/ch3.cfm/ (date of access: 24.04.2024).
2. Agarwal, Pradeep Kumar; Patil, Premit Kumar; Mehar, Rakesh (2013). A Methodology for Ranking Road Safety Hazardous Locations Using Analytical Hierarchy Process. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 104(), 1030–1037.

3. Chowi, S. S., Shahi, P. B. Thapa, S. Identification and Ranking of Road Safety Hazardous Locations: Case Study of Kotre–Aabhukhaireni Section of Prithvi Highway : [website]. – URL: <https://www.nepjol.info/index.php/injet/article/view/60934/45597> / (date of access: 24.04.2024).
4. Ambros, Jiří; Havránek, Pavel; Valentová, Veronika; Krivánková, Zuzana; Striegler, Radim (2016). Identification of Hazardous Locations in Regional Road Network – Comparison of Reactive and Proactive Approaches. *Transportation Research Procedia*, 14, 4209–4217.
5. Roshandeh, Arash M.; Agbelie, Bismark R.D.K.; Lee, Yongdoo (2016). Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2), 166–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.003>.
6. Poch, Mark; Mannering, Fred (1996). Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105–113.
7. Hauer, Ezra; Harwood, Douglas; Council, Forrest; Griffith, Michael (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(), 126–131.
8. Speed and Speed Management 2018 : [website]. – URL: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-speed-speedmanagement.pdf> (date of access: 24.04.2024).
9. Golembiewski, G.A. and Chandler, B. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwas1108.pdf>. (date of access: 24.04.2024).
10. Turner, Shane & Gardener, Robyn. Rural Intersection Risk Assessment Tool : [website]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335277470_Rural_Intersection_Risk_Assessment_Tool / (date of access: 24.04.2024).
11. Капский, Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирование дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности: монография / Д. В. Капский. – Москва: Новое знание, 2015. – 372 с.
12. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения/ Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
13. Капский, Д. В., Волынец А.С. Анализ применимости методов прогнозирования и оценки аварийности на конфликтных объектах транспортной сети и перспективы их развития / Д. В. Капский, А. С. Волынец // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. Сборник научных статей. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 38–48.
14. Юнгханс, М. Возможности оценки риска безопасности дорожного движения на перекрёстках с помощью новых методов// Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № (53). – С. 37–42.
15. Minguez J. J., Kopyrin Goldstein L. Sice automatic danger warning system at secondary road intersections: в 2 т. / Автомобильные дороги: безопасность и надёжность: сборник докладов междунар. юбилейной науч.-техн. конф. – Минск : БелдорНИИ, 2018. – Т.1. – С. 206–213.
16. Le, L., Festag, A., Baldessari, R., & Zhang, W. (2009). V2X Communication and Intersection Safety. *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009*, 97–107.
17. Artificial Intelligence in Proactive Road Infrastructure Safety Management. Summary and Conclusions : [website]. – URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/artificial-intelligence-road-infrastructure-safety-management.pdf> (date of access: 24.04.2024).
18. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие/ С. В. Скирковский, Д. В. Капский; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. Ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 173 с.
19. Капский, Д. В., Богданович С. В., Зайцева И. С. К вопросу оценки безопасности примыканий на автомобильных дорогах / Д. В. Капский, С. В. Богданович, И. С. Зайцева// Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии. Сборник научных статей. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 100–108.
20. AASTHO, 2004. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets Austroroads Incorporated, 2008. Guide to Traffic Management Part 8: Local area Traffic Management. Austroroads: Sydney, Australia.
21. Human factors guidelines for a safer man-road interface : [website]: PIARC Technical Committee 3.2 Risk management for roads. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/25385,2016R20EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).
22. Human factors in road design. Review of design standards in nine countries : [website]: PIARC Technical Committee C.1 – Safer road infrastructure. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/7/19938,2012R36-EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).

BOGDANOVICH Sergey V., Ph. D. in Eng., Ass. prof.,
ass. prof. of the department «Transport systems and technologies»
email: bsw001@gmail.com

ZAJCEVA Inga S.,
engineer of the department «Transport systems and technologies»

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 10 Juny 2024

ANALYSIS OF APPROACHES TO ASSESSING THE HAZARDS OF INTERSECTIONS OF RURAL ROADS

The safety of intersections and junctions on rural roads is a significant problem for engineers and researchers around the world. Despite lower traffic volumes compared to urban areas, rural roads account for a disproportionately large number of fatalities and serious injuries. This discrepancy may be linked to various factors, including higher vehicle speeds, limited visibility, lack of necessary road signs and lighting in some cases, as well as peculiarities of driver behavior on rural roads. In the Republic of Belarus, the number of only accidents with casualties at intersections and junctions of roads has been around 10% of the total for a long time. Consequently, assessing and mitigating the hazards associated with such areas are critically important areas of action for road owners. Intersections and junctions of roads represent a complex environment where vehicles, pedestrians, cyclists and even animals converge, creating potential conflict points. Assessing the safety risks associated with these intersections is a multifaceted task that requires a comprehensive understanding of the factors contributing to accidents and the development of effective countermeasures. Over many years, researchers and practitioners have proposed various approaches to assessing the safety performance of rural road intersections, ranging from traditional methods based on historical accident data to more advanced technologies.

The task of this article is to analyze some of the existing approaches to assessing the hazards of road intersections. Studying the strengths and limitations of each method will allow us to identify best practices and propose recommendations for improving the safety assessment process.

Keywords: Road safety; road intersections; hazard assessment; accident statistics; modern methods; forgiving roads.

References

1. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwas1108/ch3.cfm/ (date of access: 24.04.2024).
2. Agarwal, Pradeep Kumar; Patil, Premit Kumar; Mehar, Rakesh (2013). A Methodology for Ranking Road Safety Hazardous Locations Using Analytical Hierarchy Process. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 104(), 1030–1037.
3. Chowi, S. S., Shahi, P. B. Thapa, S. Identification and Ranking of Road Safety Hazardous Locations: Case Study of Kotre–Aabhukhaireni Section of Prithvi Highway : [website]. – URL: <https://www.nepjol.info/index.php/injet/article/view/60934/45597> / (date of access: 24.04.2024).
4. Ambros, Jiří; Havránek, Pavel; Valentová, Veronika; Křivánková, Zuzana; Striegler, Radim (2016). Identification of Hazardous Locations in Regional Road Network – Comparison of Reactive and Proactive Approaches. *Transportation Research Procedia*, 14, 4209–4217.
5. Roshandeh, Arash M.; Agbelie, Bismark R.D.K.; Lee, Yongdoo (2016). Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2), 166–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.003>.
6. Poch, Mark; Mannering, Fred (1996). Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies. *Journal of Transportation Engineering*, 122(2), 105–113.
7. Hauer, Ezra; Harwood, Douglas; Council, Forrest; Griffith, Michael (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(), 126–131.

8. Speed and Speed Management 2018 : [website]. – URL: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-speed-speedmanagement.pdf> (date of access: 24.04.2024).
9. Golembiewski, G.A. and Chandler, B. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners : [website]. – URL: <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2022-06/fhwasa1108.pdf>. (date of access: 24.04.2024).
10. Turner, Shane & Gardener, Robyn. Rural Intersection Risk Assessment Tool : [website]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335277470_Rural_Intersection_Risk_Assessment_Tool / (date of access: 24.04.2024).
11. Kapsky, D. V. Method of conflict zones Forecasting of road transport in potential danger: monograph / D. V. Kapsky. – Moscow: New Knowledge, 2015. – 372 p. (in Russian)
12. Kapsky, D. V. Methodology for improving the quality of the road / D. V. Kapsky. – Minsk : BNTU, 2018. – 372 p. (in Russian)
13. Kapsky, D. V. Analysis of the applicability of methods for predicting and evaluating the accident rate in conflict facilities of the transport network and the prospects for their development / D. V. Kapsky, A. S. Volynets // Transport and transport systems: design, operation, technology. Collection of scientific articles. – Minsk : BNTU, 2023. – p. 38–48. (in Russian)
14. Junghans, M. Possibility to assess the risk of road safety at the intersections using new methods / M. Junghans // Transport of the Russian Federation. – 2014. – № (53). – pp. 37–42. (in Russian).
15. Minguez J. J., Kopyrin Goldstein L. Sice automatic danger warning system at secondary road intersections: в 2 т. / Автомобильные дороги: безопасность и надежность: сборник докладов междунар. юбилейной науч.-техн. конф. – Минск : БелдорНИИ, 2018. – Т.1. – С. 206–213.
16. Le, L., Festag, A., Baldessari, R., & Zhang, W. (2009). V2X Communication and Intersection Safety. Advanced Microsystems for Automotive Applications 2009, 97–107.
17. Artificial Intelligence in Proactive Road Infrastructure Safety Management. Summary and Conclusions : [website]. – URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/artificial-intelligence-road-infrastructure-safety-management.pdf> / (date of access: 24.04.2024).
18. Examination of traffic accidents: textbook. Personal / S. V. Skirkovsky, D. V. Kapsky; Mr. Transp. and communications rep. Belarus, Belarusian. state. University transp. – Gomel: BelGUT, 2018. – 173 p. (in Russian)
19. Kapsky, D. V. On the issue of assessing the safety of adjacency on roads / D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich, I. S. Zaitseva // Transport and transport systems: design, operation, technology. Collection of scientific articles. – Minsk : BNTU, 2023. – p. 100–108. (in Russian)
20. AASTHO, 2004. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets Austroroads Incorporated, 2008. Guide to Traffic Management Part 8: Local area Traffic Management. Austroroads: Sydney, Australia.
21. Human factors guidelines for a safer man-road interface : [website]: PIARC Technical Committee 3.2 Risk management for roads. –URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/25385,2016R20EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).
22. Human factors in road design. Review of design standards in nine countries : [website]: PIARC Technical Committee C.1 – Safer road infrastructure. – URL: <https://www.piarc.org/ressources/publications/7/19938,2012R36-EN.pdf> (date of access: 24.04.2024).

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
доц. каф. «Транспортные системы и технологии»
E-mail: bsw001@gmail.com

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 16.07.2024

МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ И ДОЛГОСРОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ В УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В данной статье представлена комплексная методология системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры. Исследование направлено на разработку инновационного подхода к оценке и повышению безопасности дорожного движения с учетом сложности и динамичности транспортных систем. Методология основана на интеграции системно-динамического моделирования, методов машинного обучения и экспертных оценок. Она позволяет выявлять и анализировать обратные связи в системе безопасности дорожной инфраструктуры, прогнозировать долгосрочные последствия принимаемых решений и разрабатывать более эффективные стратегии управления. В статье рассматриваются теоретические основы системного анализа безопасности дорожной инфраструктуры, методы количественной и качественной оценки обратных связей, а также подходы к анализу долгосрочных последствий. Особое внимание уделяется интегрированному подходу, объединяющему различные методы и инструменты для всестороннего анализа. Автор предлагает рекомендации по внедрению разработанной методологии в практику управления, учитывая возможные ограничения и адаптацию к различным контекстам. Также рассматриваются перспективы развития методологии, включая интеграцию новейших технологий и учет глобальных трендов, влияющих на безопасность дорожного движения. Исследование имеет практическую ценность, предоставляя инструментарий для принятия более обоснованных решений в сфере управления безопасностью дорожной инфраструктуры. Применение предложенной методологии может способствовать снижению числа дорожно-транспортных происшествий и связанных с ними потерь, улучшая качество жизни и экономическое благосостояние общества.

Ключевые слова: безопасность дорожной инфраструктуры, системный анализ, обратные связи, долгосрочные эффекты, системно-динамическое моделирование, управление рисками.

Введение

Безопасность дорожной инфраструктуры в современном мире является критически важным аспектом устойчивого развития общества и экономики. Несмотря на значительные усилия, предпринимаемые во всем мире, проблема дорожно-транспортных происшествий (ДТП) остается одной из главных причин смертности и травматизма. По данным Всемирного банка, ежегодные экономические потери от ДТП составляют около 3 % мирового ВВП, что эквивалентно примерно 2,3 триллиона долларов США [1].

Кроме того, растущая урбанизация и автомобилизация создают дополнительные вызовы

для систем управления дорожной безопасностью. К 2050 году ожидается, что 68 % мирового населения будет проживать в городах [2], что приведет к увеличению нагрузки на городскую дорожную инфраструктуру и потребует инновационных подходов к обеспечению безопасности.

Климатические изменения также оказывают существенное влияние на безопасность дорожной инфраструктуры. Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений создает новые риски для дорожных сетей и требует адаптивных стратегий управления [3].

В контексте этих глобальных вызовов становится очевидной необходимость разработки более эффективных и комплексных подходов к управлению безопасностью дорожной инфраструктуры, учитывающих сложные взаимосвязи и долгосрочные последствия принимаемых решений.

Целью данного исследования является разработка комплексной методологии системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих подходов к оценке безопасности дорожной инфраструктуры и выявить их ограничения в контексте современных вызовов.

2. Разработать концептуальную модель безопасности дорожной инфраструктуры как сложной адаптивной системы с учетом множественных обратных связей.

3. Предложить методы выявления и классификации обратных связей в системе безопасности дорожной инфраструктуры, интегрирующие количественные и качественные подходы.

4. Разработать алгоритмы оценки обратных связей и их влияния на долгосрочные результаты, учитывающие неопределенность и динамичность внешней среды.

5. Создать интегрированный подход к анализу обратных связей и прогнозированию долгосрочных последствий принимаемых решений, основанный на современных методах анализа данных и моделирования.

Современные исследования в области безопасности дорожной инфраструктуры все чаще обращаются к системному подходу, признавая сложность и взаимосвязанность факторов, влияющих на безопасность дорожного движения [4]. Концепция «безопасной системы» (Safe System Approach), продвигаемая Всемирным Банком, Всемирной организацией здравоохранения и другими международными организациями, подчеркивает необходимость целостного подхода к управлению безопасностью [5].

Однако, несмотря на растущее признание важности системного подхода, существует значительный разрыв между теоретическими концепциями и их практическим применением в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры. Большинство существующих методов оценки и управления безопасностью по-прежнему основаны на линейных моделях и не учитывают сложные обратные связи и долгосрочные эффекты [6].

Развитие технологий больших данных и искусственного интеллекта открывает новые возможности для более глубокого анализа и прогнозирования в сфере безопасности дорожного движения [7]. Однако интеграция этих технологий в существующие системы управления безопасностью остается сложной задачей, требующей междисциплинарного подхода и новых методологических разработок.

Таким образом, существует необходимость в разработке комплексной методологии, которая могла бы преодолеть ограничения существующих подходов и обеспечить более эффективное и устойчивое управление безопасностью дорожной инфраструктуры в долгосрочной перспективе.

Теоретические основы системного анализа безопасности дорожной инфраструктуры

Безопасность дорожной инфраструктуры представляет собой сложную адаптивную систему, характеризующуюся множеством взаимосвязанных элементов, нелинейными взаимодействиями и динамическим поведением. Эта система включает в себя не только физические компоненты дорожной инфраструктуры, такие как дороги, знаки и светофоры, но и человеческий фактор, транспортные средства, законодательство и социально-экономические условия.

Системный подход к анализу безопасности дорожной инфраструктуры позволяет учитывать многоуровневость проблемы, от микроуровня отдельных элементов дороги до макроуровня национальной транспортной политики. Междисциплинарность является ключевой характеристикой этого подхода, интегрируя знания из инженерии, психологии, экономики и других областей. Важно также отметить эмерджентность системы безопасности дорожной инфраструктуры, где возникают новые свойства, не присущие отдельным ее элементам [8].

Адаптивность системы проявляется в ее способности изменяться в ответ на внешние и внутренние воздействия. Это особенно важно в контексте быстро меняющихся технологий и социальных норм, влияющих на поведение участников дорожного движения. Применение теории сложных систем к безопасности дорожной инфраструктуры позволяет выявить скрытые закономерности и потенциальные точки воздействия для повышения общей эффективности системы.

Обратные связи играют ключевую роль в динамике сложных систем, в том числе

и в системе безопасности дорожной инфраструктуры. Они могут быть как положительными (усиливающими изменения), так и отрицательными (стабилизирующими систему). Понимание и анализ этих обратных связей критически важны для эффективного управления безопасностью дорожного движения [9].

Примером положительной обратной связи может служить ситуация, когда внедрение новых технологий безопасности повышает доверие водителей и стимулирует более рискованное поведение. Это, в свою очередь, может привести к увеличению числа аварий, что потребует дальнейшего усиления мер безопасности. С другой стороны, отрицательная обратная связь может проявляться в том, как улучшение качества дорог приводит к увеличению скорости движения, что потенциально снижает общий уровень безопасности.

Идентификация и анализ таких обратных связей позволяют прогнозировать долгосрочные последствия принимаемых решений и разрабатывать более эффективные стратегии управления безопасностью. Важно отметить, что обратные связи могут действовать на различных временных масштабах, от немедленных эффектов до долгосрочных изменений в поведении участников дорожного движения и структуре транспортной системы [9].

Теория управления рисками предоставляет важный инструмент для анализа и улучшения безопасности дорожной инфраструктуры. В контексте дорожной безопасности риск можно определить как комбинацию вероятности возникновения нежелательного события (например, ДТП) и серьезности его последствий. Управление рисками в этой сфере включает в себя идентификацию, оценку, приоритизацию и минимизацию рисков.

Современные подходы к управлению рисками в дорожной безопасности основываются на принципе «Vision Zero», который предполагает, что ни одна человеческая жизнь не должна быть потеряна в результате дорожно-транспортных происшествий. Этот подход требует системного мышления и признания того, что ответственность за безопасность лежит не только на участниках дорожного движения, но и на проектировщиках дорожной инфраструктуры, производителях транспортных средств и лицах, принимающих политические решения [10].

Интеграция теории управления рисками с системным анализом обратных связей позволяет более точно оценивать долгосрочные последствия различных мер безопасности и раз-

рабатывать более устойчивые стратегии снижения рисков.

Междисциплинарный подход к анализу безопасности дорожной инфраструктуры является необходимым условием для комплексного понимания и эффективного управления этой сложной системой. Он объединяет знания и методы из различных областей, включая инженерию, психологию, социологию, экономику и информатику [11].

Инженерные аспекты фокусируются на проектировании и поддержании физической инфраструктуры, в то время как психологические исследования помогают понять поведение участников дорожного движения и факторы, влияющие на принятие решений в различных дорожных ситуациях. Социологический подход рассматривает влияние культурных норм и социальных факторов на безопасность дорожного движения. Экономические исследования оценивают затраты и выгоды различных мер безопасности, а также экономические последствия дорожно-транспортных происшествий [12].

Информационные технологии и анализ данных играют все более важную роль в этом междисциплинарном подходе, предоставляя инструменты для сбора и анализа больших объемов данных о дорожном движении и безопасности. Интеграция этих различных дисциплин позволяет создать более полную картину системы безопасности дорожной инфраструктуры и разработать более эффективные стратегии ее улучшения.

Таким образом, теоретические основы системного анализа безопасности дорожной инфраструктуры представляют собой синтез различных научных подходов, объединенных общей целью создания более безопасной и устойчивой транспортной системы.

Методология анализа обратных связей в системе безопасности дорожной инфраструктуры

Выявление и классификация обратных связей в системе безопасности дорожной инфраструктуры требует систематического подхода, основанного на ряде ключевых принципов. Холистический подход предполагает рассмотрение системы в целом, а не только отдельных ее компонентов. Это позволяет выявить взаимосвязи, которые могут быть не очевидны при анализе изолированных элементов системы [11].

Междисциплинарность является критически важным принципом, обеспечивающим интеграцию знаний из различных областей, включая

инженерию, психологию, социологию и экономику. Такой подход позволяет учесть многообразие факторов, влияющих на безопасность дорожного движения.

Временная динамика также играет ключевую роль в анализе обратных связей. Необходимо учитывать краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные эффекты, так как некоторые обратные связи могут проявляться только через значительные промежутки времени.

Многоуровневый анализ предполагает рассмотрение обратных связей на микро-, мезо- и макроуровнях системы. Это позволяет выявить взаимодействия между различными уровнями организации дорожной инфраструктуры и безопасности [13].

Для классификации обратных связей предлагается использовать следующие критерии: направление влияния (положительные или отрицательные), временной масштаб (краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные), область влияния (технические, поведенческие, социальные, экономические аспекты) и интенсивность влияния (сильные, умеренные или слабые).

В количественной оценке обратных связей ключевую роль играет математическое моделирование. Системно-динамическое моделирование позволяет создавать комплексные модели, описывающие динамику системы с учетом множественных обратных связей. Эти модели могут включать дифференциальные уравнения, описывающие изменения различных параметров системы во времени [13].

Например, модель, описывающая влияние улучшения качества дорог на безопасность, может быть представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} dQ / dt = \alpha \cdot I - \beta \cdot Q \\ dS / dt = \gamma \cdot Q - \delta \cdot V, \\ dV / dt = \varepsilon \cdot Q - \zeta \cdot S \end{cases}$$

где Q – качество дорог, которое может быть выражено, например, значением ровности покрытия;

I – инвестиции;

S – уровень безопасности;

V – средняя скорость движения;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – коэффициенты, отражающие силу связей между переменными.

Статистические методы, такие как анализ временных рядов и регрессионный анализ, позволяют выявлять статистические закономерности и корреляции между различными показателями безопасности во времени [13]. Например,

метод векторной авторегрессии (VAR) может быть использован для моделирования взаимосвязей между несколькими временными рядами, такими как количество ДТП, интенсивность движения и меры по улучшению безопасности.

Методы машинного обучения, такие как нейронные сети и алгоритмы глубокого обучения, предоставляют мощные инструменты для анализа сложных нелинейных взаимосвязей в системе безопасности дорожной инфраструктуры. Так, рекуррентные нейронные сети (RNN) могут быть использованы для прогнозирования долгосрочных эффектов различных мер безопасности, учитывая временную динамику системы [14].

Качественные методы оценки обратных связей дополняют количественные подходы, позволяя учесть факторы, которые трудно формализовать математически. Экспертные оценки играют важную роль в этом процессе, привлекая специалистов из различных областей для идентификации и оценки обратных связей. Метод Дельфи может быть использован для структурированного сбора и анализа экспертных мнений [15].

Когнитивное картирование представляет собой эффективный инструмент для визуального представления сложных взаимосвязей между элементами системы. Это позволяет наглядно отобразить обратные связи и их влияние на различные аспекты безопасности дорожной инфраструктуры [16].

Сценарный анализ является ценным методом для разработки и анализа различных сценариев развития системы с учетом выявленных обратных связей. Этот подход позволяет оценить потенциальные долгосрочные последствия различных стратегий управления безопасностью [17].

Интеграция количественных и качественных методов анализа обратных связей позволит получить более полное и глубокое понимание динамики системы безопасности дорожной инфраструктуры. Этот интегрированный подход может включать следующие этапы:

1. Предварительный качественный анализ с использованием экспертных оценок и когнитивного картирования для выявления ключевых обратных связей и факторов влияния.

2. Разработка количественных моделей на основе выявленных взаимосвязей, используя методы системной динамики и статистического анализа.

3. Калибровка и валидация моделей с использованием исторических данных и экспертных оценок.

4. Проведение сценарного анализа с использованием разработанных моделей для оценки долгосрочных последствий различных стратегий.

5. Итеративное уточнение моделей и сценариев на основе новых данных и экспертных оценок.

Такой комплексный подход позволяет учесть как количественные, так и качественные аспекты обратных связей в системе безопасности дорожной инфраструктуры, обеспечивая более надежную основу для принятия управленческих решений.

Анализ долгосрочных последствий принимаемых решений

Прогнозирование долгосрочных эффектов в сфере безопасности дорожной инфраструктуры представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода и учета множества факторов. Основной целью такого прогнозирования является выявление потенциальных последствий принимаемых решений в долгосрочной перспективе, что позволяет разрабатывать более эффективные стратегии управления безопасностью.

Системно-динамическое моделирование является одним из ключевых методов прогнозирования долгосрочных эффектов. Этот подход позволяет создавать компьютерные модели сложных систем, учитывающие множество взаимосвязанных факторов и обратных связей. В контексте безопасности дорожной инфраструктуры такие модели могут включать различные аспекты, такие как поведение участников дорожного движения, технические характеристики транспортных средств и дорожной инфраструктуры, экономические факторы и законодательные меры [11].

Например, модель может быть представлена системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} dS / dt = \alpha(I) - \beta(S) \cdot T, \\ dT / dt = \gamma(S) - \delta(E), \\ dE / dt = \varepsilon(T) - \zeta(R), \end{cases}$$

где S – уровень безопасности;

I – инвестиции в инфраструктуру;

T – интенсивность движения;

E – экономическая активность;

R – регуляторные меры;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – функции, описывающие взаимосвязи между переменными.

Сценарный анализ является другим важным методом, который предполагает разработку

и оценку различных возможных сценариев развития событий. В контексте безопасности дорожной инфраструктуры этот метод может быть использован для оценки потенциальных последствий внедрения новых технологий, изменений в законодательстве или социально-экономических трендов. Сценарный анализ может быть формализован с использованием методов теории вероятностей и нечеткой логики для учета неопределенности будущих событий [18].

Методы машинного обучения и искусственного интеллекта также находят все большее применение в прогнозировании долгосрочных эффектов. Нейронные сети, особенно рекуррентные нейронные сети (RNN) и долгая краткосрочная память (LSTM), могут быть использованы для прогнозирования долгосрочных трендов в области дорожно-транспортных происшествий на основе исторических данных и множества влияющих факторов [14]. Формально, прогноз может быть представлен как:

$$y(t+h) = f(x(t), x(t-1), \dots, x(t-n), \theta),$$

где $y(t+h)$ – прогнозируемое значение на h шагов вперед;

$x(t)$ – вектор входных переменных в момент времени t ;

θ – параметры модели;

f – нелинейная функция, представленная нейронной сетью.

При долгосрочном планировании в сфере безопасности дорожной инфраструктуры неизбежно возникают риски и неопределенности, которые необходимо учитывать для принятия обоснованных решений. Вероятностный анализ является одним из ключевых подходов к оценке рисков. Этот метод позволяет количественно оценить вероятность возникновения различных событий и их потенциальные последствия.

Байесовские сети представляют собой мощный инструмент для моделирования сложных взаимосвязей и оценки рисков в условиях неопределенности. Они позволяют интегрировать экспертные знания с эмпирическими данными и обновлять оценки вероятностей по мере поступления новой информации. Формально, байесовская сеть может быть представлена как направленный ациклический граф $G = (V, E)$, где V – множество вершин, представляющих случайные переменные, а E – множество ребер, представляющих условные зависимости между переменными [19].

Анализ чувствительности является важным аспектом оценки рисков и неопределенностей. Этот метод позволяет определить, насколько сильно изменения различных факторов влияют на конечный результат. В контексте безопасности дорожной инфраструктуры анализ чувствительности может быть использован для выявления наиболее критичных факторов, влияющих на долгосрочную безопасность, и разработки стратегий по управлению этими факторами [20]. Математически, анализ чувствительности может быть выражен через частные производные выходной переменной по входным параметрам:

$$S_i = \partial Y / \partial X_i,$$

где S_i – индекс чувствительности;

Y – выходная переменная;

X_i – i -й входной параметр.

Важно отметить, что при долгосрочном планировании необходимо учитывать не только известные риски, но и так называемых «черных лебедей» – редкие и трудно предсказуемые события с потенциально высоким воздействием [21]. Для этого могут быть использованы методы экстремального анализа и теории экстремальных значений, которые позволяют моделировать и оценивать вероятность редких событий [22].

Интеграция различных методов анализа долгосрочных последствий и оценки рисков позволяет создать комплексную систему поддержки принятия решений в сфере управления безопасностью дорожной инфраструктуры. Такая система должна быть адаптивной, способной учитывать новые данные и изменения в окружающей среде, и предоставлять лицам, принимающим решения, актуальную информацию о потенциальных долгосрочных последствиях различных стратегий и мер безопасности [23].

Интегрированный подход к анализу обратных связей и долгосрочных последствий

Интегрированный подход к анализу обратных связей и долгосрочных последствий в сфере безопасности дорожной инфраструктуры требует разработки комплексной модели оценки. Эта модель должна объединять различные методы и инструменты, учитывая многомерность проблемы, взаимосвязанность факторов и динамический характер системы.

Основой комплексной модели служит системно-динамический подход, позволяющий моделировать сложные взаимодействия между

элементами системы безопасности дорожной инфраструктуры во времени. Этот подход, впервые предложенный еще в 1961 г. [24], дополняется методами машинного обучения для обработки больших объемов данных и экспертными оценками для учета качественных факторов.

Интеграция данных из различных источников является ключевым аспектом модели. Она включает статистику ДТП, информацию о состоянии инфраструктуры, данные о поведении участников движения и социально-экономические показатели. Для обработки этого массива информации применяются технологии больших данных и методы интеллектуального анализа данных [25].

Многоуровневое моделирование позволяет учитывать различные уровни анализа: от микроуровня отдельных участков дороги до макроуровня национальной транспортной системы. Этот подход обеспечивает всесторонний анализ взаимодействий между различными уровнями системы [26].

На основе комплексной модели оценки разрабатывается алгоритм принятия решений, учитывающий обратные связи и долгосрочные эффекты. Этот алгоритм обеспечивает систематический подход к анализу проблем и выбору оптимальных решений.

Процесс начинается с идентификации проблемы и определения целей. Затем проводится сбор и анализ данных с использованием методов интеллектуального анализа для выявления скрытых закономерностей и трендов.

Моделирование системы позволяет анализировать различные сценарии и оценивать потенциальные долгосрочные последствия решений. Это дополняется оценкой рисков и неопределенностей с применением методов вероятностного анализа и анализа чувствительности, как предлагает Р. Элвик в своей модели оценки безопасности дорожного движения [27].

На основе результатов моделирования и оценки рисков формируются альтернативные стратегии. Каждая стратегия оценивается с точки зрения ее потенциальной эффективности, рисков и долгосрочных последствий. Финальным шагом является выбор оптимальной стратегии и разработка плана ее реализации с механизмами мониторинга и обратной связи.

Важно отметить, что этот алгоритм предполагает итеративный подход с постоянной оценкой и корректировкой решений, что соответствует принципам адаптивного управления [28].

Важным элементом комплексной модели является визуализация результатов анализа. Использование современных технологий визуализации данных позволяет представить сложные взаимосвязи и долгосрочные тренды в наглядной форме, что облегчает принятие решений и коммуникацию между заинтересованными сторонами.

Визуализация может включать динамические графики, интерактивные карты и диаграммы причинно-следственных связей. Эти инструменты помогают лицам, принимающим решения, лучше понять сложные взаимодействия в системе и потенциальные последствия различных стратегий.

Интерпретация результатов анализа требует междисциплинарного подхода, объединяющего знания из области транспортной инженерии, психологии, экономики и других релевантных дисциплин. Это соответствует подходу «инженерии устойчивости», который подчеркивает важность системного мышления в управлении безопасностью [29].

Ключевым аспектом интерпретации является понимание ограничений модели и неопределенностей, связанных с долгосрочными прогнозами. Как отмечает С. Деккер, важно рассматривать результаты анализа не как окончательные предсказания, а как инструмент для лучшего понимания динамики системы и потенциальных последствий различных решений [30].

Применение этого интегрированного подхода позволяет принимать более обоснованные и эффективные решения в сфере управления безопасностью дорожной инфраструктуры, обеспечивая всестороннее понимание сложных взаимосвязей в системе и долгосрочных эффектов принимаемых решений.

Преимущества и ограничения методики

Предлагаемый подход имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными подходами к оценке безопасности дорожной инфраструктуры:

1. Комплексность. Методика учитывает широкий спектр факторов и их взаимосвязей, в отличие от традиционных подходов, часто фокусирующихся на отдельных аспектах безопасности.

2. Долгосрочность. Анализ долгосрочных эффектов позволяет выявлять отложенные последствия принимаемых решений, что редко учитывается в стандартных подходах.

3. Адаптивность. Итеративный характер методики позволяет корректировать стратегии на основе новых данных, что повышает эффек-

тивность управления в динамично меняющихся условиях.

4. Интеграция количественных и качественных методов. Это обеспечивает более полное понимание проблемы, учитывая как статистические данные, так и экспертные оценки.

5. Визуализация результатов. Использование современных методов визуализации облегчает понимание сложных взаимосвязей и принятие решений.

Однако следует отметить, что предложенная методика требует более значительных ресурсов и экспертизы для реализации по сравнению с традиционными подходами. При ее применении необходимо учитывать следующие ограничения и потенциальные проблемы:

1. Сложность модели. Комплексность модели может затруднять ее интерпретацию и применение лицами, принимающими решения, не имеющими специальной подготовки.

2. Потребность в данных. Методика требует большого объема разнообразных данных, что может быть проблематично при ограниченных ресурсах для сбора и анализа информации, что, в частности, свойственно для Республики Беларусь.

3. Неопределенность долгосрочных прогнозов. Несмотря на использование передовых методов моделирования, долгосрочные прогнозы всегда содержат элемент неопределенности, особенно в быстро меняющейся технологической и социальной среде.

4. Риск переоценки технологических решений. Существует опасность чрезмерного фокуса на технологических инновациях в ущерб другим аспектам безопасности, таким как человеческий фактор и социальные нормы.

5. Этические вопросы: Использование больших данных и методов машинного обучения может поднимать вопросы приватности и этики, требующие тщательного рассмотрения.

Для преодоления этих ограничений можно предпринять следующие действия:

– проводить регулярное обучение лиц, принимающих решения, основам системного анализа и интерпретации результатов моделирования;

– развивать партнерства между государственными органами, исследовательскими институтами и технологическими компаниями для обеспечения доступа к необходимым данным и экспертизе;

– использовать сценарный анализ и методы оценки рисков для учета неопределенности в долгосрочных прогнозах;

– обеспечивать баланс между технологическими и нетехнологическими мерами повышения безопасности;

Рекомендации по внедрению методики в практику управления

Для успешного применения методики на практике необходимо учитывать особенности конкретной транспортной системы, имеющиеся ресурсы и институциональные рамки.

в области транспортной инженерии, анализа данных, системной динамики и управления проектами. Эта команда должна пройти специальное обучение по применению разработанной методики, включая освоение инструментов системно-динамического моделирования и методов машинного обучения.

Следующим этапом является проведение аудита существующих систем сбора и анализа данных о безопасности дорожного движения. На основе этого аудита разрабатывается план модернизации информационной инфраструктуры, включая внедрение современных систем мониторинга дорожной ситуации, интеграцию различных источников данных и создание единой аналитической платформы.



Рисунок 1 – Этапы внедрения методики системного анализа в управление безопасностью дорожной инфраструктуры

ные, так и долгосрочные эффекты принимаемых решений. Эта система должна учитывать не только традиционные показатели безопасности, такие как количество ДТП и число пострадавших, но и более широкий спектр факторов, включая экономические, социальные и экологические аспекты.

Пилотное внедрение методики рекомендуется проводить на ограниченной территории или в рамках конкретного проекта по улучшению безопасности дорожной инфраструктуры. Это позволит отработать все ас-

пекты применения методики, выявить потенциальные проблемы и разработать пути их решения.

Для адаптации методики к различным контекстам и условиям необходимо учитывать специфику местной транспортной системы, культурные особенности и экономические факторы. В развивающихся странах, где ресурсы для сбора и анализа данных могут быть ограничены, рекомендуется начинать с упрощенной версии методики, постепенно наращивая ее сложность по мере развития информационной инфраструктуры.

Ключевым фактором успешного внедрения методики является обеспечение поддержки со стороны лиц, принимающих решения на высоком уровне. Для этого необходимо проводить регулярные презентации и семинары, демонстрирующие потенциальные выгоды от применения системного подхода к управлению безопасностью дорожной инфраструктуры.

Мониторинг и оценка эффективности применения методики должны проводиться на регулярной основе (рис. 2). Для этого рекомендуется использовать комбинацию количественных и качественных методов, включая анализ статистических данных, экспертные оценки и опросы заинтересованных сторон. Результаты мониторинга должны использоваться для непрерывного улучшения методики и ее адаптации к меняющимся условиям.



Рисунок 2 – Цикл мониторинга и улучшения методики

В заключение следует отметить, что внедрение разработанной методики системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управление безопасностью дорожной инфраструктуры является сложным, но необходимым шагом для повышения эффективности транспортных систем и снижения числа дорожно-транспортных происшествий. Успешное применение методики требует не только

технических и аналитических навыков, но и изменения культуры управления, перехода к более комплексному и долгосрочному видению проблем безопасности дорожного движения.

Перспективы развития методологии

Разработанная методология системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры открывает широкие возможности для дальнейшего развития и совершенствования.

Одним из ключевых направлений развития методологии является ее интеграция с новейшими технологиями (рис. 3).



Рисунок 3 – Интеграция новых технологий в методологию системного анализа

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение могут значительно усилить аналитические возможности методологии [31]. Например, использование глубоких нейронных сетей позволит более точно прогнозировать долгосрочные эффекты принимаемых решений, учитывая сложные нелинейные взаимосвязи между различными факторами.

Технология Интернета вещей (IoT) открывает новые возможности для сбора данных о состоянии дорожной инфраструктуры и поведении участников движения в режиме реального времени [32]. Интеграция этих данных в модели системной динамики позволит создать более точные и адаптивные системы управления безопасностью.

Технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности могут быть использованы для создания более наглядных и интерактивных визуализаций результатов анализа. Это поможет лицам, принимающим решения, лучше понять сложные взаимосвязи и потенциальные последствия различных стратегий.

Блокчейн технология может быть использована для системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры, обеспечивая централизованное хранение данных, автоматический сбор и анализ данных, управление идентификацией и доступом, интеграцию с другими системами, а также прозрачность и отчетность.

Широкие перспективы открывают квантовые вычисления: квантовые компьютеры могут быть задействованы для задач моделирования, оптимизации, машинного обучения, симуляции различных сценариев на дороге, криптографии при обеспечении безопасности и целостности данных о дорожной инфраструктуре и ДТП.

Развитие методологии должно учитывать глобальные тренды, которые будут оказывать существенное влияние на транспортные системы и безопасность дорожного движения в будущем (табл. 1).

К особенностям адаптации методологии при этом относятся следующие аспекты:

1. Урбанизация и развитие мегаполисов. Этот тренд требует адаптации методологии к специфике управления безопасностью в условиях сверхплотной городской застройки и сложных транспортных потоков [33].

2. Климатические изменения. Методология должна учитывать возрастающие риски, связанные с экстремальными погодными явлениями и их влиянием на дорожную инфраструктуру [34].

3. Переход к электромобилям и альтернативным видам транспорта. Необходимо адаптировать модели к изменяющимся характеристикам транспортных средств и новым паттернам мобильности.

4. Развитие шеринговой экономики в сфере транспорта. Методология должна учитывать влияние каршеринга, райдшеринга и других форм совместного использования транспорта на безопасность дорожного движения.

5. Старение населения в развитых странах. Это требует адаптации моделей к изменяющимся потребностям и возможностям участников дорожного движения.

Таблица 1 – Влияния глобальных трендов на безопасность дорожной инфраструктуры

Глобальный тренд	Потенциальное влияние на безопасность	Необходимые адаптации методологии
Урбанизация	Увеличение плотности движения, рост числа конфликтных точек	Разработка моделей для сверхсложных урбанистических систем
Климатические изменения	Повышение рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями	Интеграция климатических моделей в анализ рисков
Электромобили и альтернативный транспорт	Изменение динамики ДТП, новые риски (например, бесшумность электромобилей)	Адаптация моделей к характеристикам новых видов транспорта
Шеринговая экономика	Изменение паттернов использования транспорта, новые риски для неопытных водителей	Учет влияния шеринга на поведение участников движения
Старение населения	Изменение психофизических характеристик водителей и пешеходов	Адаптация моделей к потребностям старшего поколения

Для дальнейшего развития методологии системного анализа в сфере безопасности дорожной инфраструктуры предлагаются следующие направления исследований:

1. Разработка методов интеграции качественных данных, таких как экспертные оценки и результаты социологических опросов, в количественные модели системной динамики.

2. Исследование возможностей применения теории сложных адаптивных систем для моделирования эволюции транспортных систем и поведения участников дорожного движения.

3. Разработка методов оценки долгосрочных социальных и экономических эффектов от повышения безопасности дорожной инфраструктуры, включая влияние на качество жизни и экономическое развитие.

4. Исследование этических аспектов применения методов искусственного интеллекта и больших данных в управлении безопасностью дорожного движения, разработка принципов этичного использования данных и алгоритмов.

5. Изучение возможностей применения концепций поведенческой экономики для разработки более эффективных стратегий влияния на поведение участников дорожного движения.

6. Исследование методов интеграции микро- и макроуровневых моделей для создания многомасштабных симуляций транспортных систем.

7. Разработка методов оценки устойчивости и адаптивности транспортных систем к различным шокам и долгосрочным изменениям.

В заключение следует отметить, что развитие методологии системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры является непрерывным процессом. По мере развития технологий, изменения социально-экономических условий и появления новых вызовов в сфере безопасности дорожного движения, методология должна адаптироваться и совершенствоваться. Междисциплинарный подход и открытость к инновациям будут ключевыми факторами успешного развития методологии в будущем.

Заключение

В результате проведенного исследования была предложена комплексная методология системного анализа обратных связей и долгосрочных эффектов в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры. Ключевым достижением стало создание интегрированного подхода, объединяющего различные методы и инструменты для всестороннего анализа сложной динамики транспортных систем.

Исследование показало, что безопасность дорожной инфраструктуры представляет собой сложную адаптивную систему с множеством взаимосвязанных элементов и нелинейными взаимодействиями. Выявление и анализ обратных связей в этой системе позволяет прогнозировать долгосрочные последствия принимаемых решений и разрабатывать более эффективные стратегии управления безопасностью.

Предлагаемая методология включает в себя системно-динамическое моделирование, методы машинного обучения, экспертные оценки и современные технологии визуализации данных. Такой комплексный подход обеспечивает более глубокое понимание факторов, влияющих на безопасность дорожного движения, и позволяет учитывать долгосрочные эффекты принимаемых решений.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их применения для повышения эффективности управления безопасностью дорожной инфраструктуры. Методология предоставляет инструментарий для принятия более обоснованных решений с учетом сложных взаимосвязей и долгосрочных последствий.

Внедрение данной методологии в практику управления позволит улучшить прогнозирование потенциальных рисков и эффективности мер безопасности, что в конечном итоге может привести к снижению числа дорожно-

транспортных происшествий и связанных с ними человеческих и экономических потерь.

Следует отметить возможность адаптации методологии к различным контекстам и условиям, что делает ее применимой как в развитых, так и в развивающихся странах. Предложенные рекомендации по внедрению методологии учитывают возможные ограничения ресурсов и существующие институциональные рамки.

Перспективы дальнейшего развития темы связаны с несколькими ключевыми направлениями. Во-первых, интеграция новейших технологий, таких как искусственный интеллект, Интернет вещей и квантовые вычисления, открывает новые возможности для более точного анализа и прогнозирования в сфере безопасности дорожного движения.

Во-вторых, учет глобальных трендов, таких как урбанизация, климатические изменения и переход к электромобилям, требует постоянной адаптации методологии к меняющимся условиям. Это предполагает разработку новых моделей и подходов, учитывающих эти долгосрочные изменения.

В-третьих, существует потребность в дальнейших исследованиях для улучшения интеграции качественных и количественных данных, разработки многомасштабных моделей и изучения этических аспектов применения новых технологий в управлении безопасностью дорожного движения.

Развитие методологии системного анализа в сфере безопасности дорожной инфраструктуры представляет собой непрерывный процесс, требующий междисциплинарного подхода и открытости к инновациям. Продолжение исследований в этой области имеет потенциал для существенного улучшения безопасности дорожного движения и, как следствие, повышения качества жизни и экономического благосостояния общества.

Литература

1. Wambulwa, William Majani; Job, Raymond Franklin Soames; Turner, Blair Matthew. Guide for Road Safety Opportunities and Challenges : Low and Middle Income Country Profiles (English). Washington, D.C. : World Bank Group : [website]. – URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/447031581489115544/Guide-for-Road-Safety-Opportunities-and-Challenges-Low-and-Middle-Income-Country-Profiles> (date of access: 15.07.2024).
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revi-

sion : [website]. – URL: [https:// population.un.org/wup/Publications/Files/ WUP 2018-Report.pdf](https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP_2018-Report.pdf). (date of access: 15.07.2024).

3. Капский, Д. В. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе в Республике Беларусь / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль. – Минск: БНТУ, 2022. – 256 с.

4. Salmon, Paul M.; Lenné, Michael G. . (2015). Miles away or just around the corner? Systems thinking in road safety research and practice. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 243–249.

5. Global status report on road safety 2023. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO : [website]. – URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf> (date of access: 15.07.2024).

6. Khan, Md Nasim & Das, Subasish. (2024). Advancing Traffic Safety through the Safe System Approach: A Systematic Review. *Accident Analysis & Prevention*. 199.

7. Shi, Qi & Abdel-Aty, Mohamed (2015). Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 58.

8. Salmon, Paul M.; Lenné, Michael G. (2015). Miles away or just around the corner? Systems thinking in road safety research and practice. *Accident Analysis & Prevention*, 74(), 243–249.

9. Leveson, N. (2011). Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety. MIT press. IGO [website]. – URL: <http://sunnyday.mit.edu/safer-world.pdf> (date of access: 15.07.2024).

10. Wegman F.; Aarts L.; Bax Ch. (2008). Advancing sustainable safety: National road safety outlook for The Netherlands for 2005–2020. 46(2), 323–343.

11. Sterman, John. (2000). Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World : [website]. – URL: [http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=013598/\(100\).19](http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=013598/(100).19) (date of access: 15.07.2024).

12. Nævestad, T. O., & Bjørnskau, T. (2011). How Can the Safety Culture Perspective be Applied to Road Traffic? *Transport Reviews*, 32(2), 139–154.

13. Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons : [website]. – URL: [http:// repo.darmajaya.ac.id/4781/1/Time%20Series%20Analysis_ %20Forecas](http://repo.darmajaya.ac.id/4781/1/Time%20Series%20Analysis_%20Forecas)

[ting%20and% 20Control% 20%28%20PDFDrive% 20%29.pdf](#) (date of access: 15.07.2024).

14. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT press : [website]. – URL: [http://imlab.postech.ac.kr/dkim/class/ csed514_2019s/DeepLearningBook.pdf](http://imlab.postech.ac.kr/dkim/class/csed514_2019s/DeepLearningBook.pdf) (date of access: 15.07.2024).

15. Linstone, H. A., & Turoff, M. (Eds.). (1975). The Delphi method: Techniques and applications. Reading, MA: Addison-Wesley : [website]. – URL: [https:// www.foresight.pl/assets/ downloads/publications/Turoff_Linstone.pdf](https://www.foresight.pl/assets/downloads/publications/Turoff_Linstone.pdf) (date of access: 15.07.2024).

16. Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159(3), 673–686.

17. Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40.

18. Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25–40.

19. Pearl, J. (2009). Causality: Models, reasoning, and inference. Cambridge university press.

20. Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., ... & Tarantola, S. (2008). Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons : [website]. – URL: [http://www. andreasaltelli.eu/file/ repository/A_Saltelli_Marco_Ratto_Terry_Andres_Francesca_Campolongo_Jessica_Cariboni_Debora_Gatelli_Michaela_Saisana_Stefano_Tarantola_Global_Sensitivity_Analysis_The_Primer_Wiley_Interscience_2008_.pdf](http://www.andreasaltelli.eu/file/repository/A_Saltelli_Marco_Ratto_Terry_Andres_Francesca_Campolongo_Jessica_Cariboni_Debora_Gatelli_Michaela_Saisana_Stefano_Tarantola_Global_Sensitivity_Analysis_The_Primer_Wiley_Interscience_2008_.pdf) (date of access: 15.07.2024).

21. Талёб, Н. Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости. – 2-е изд., доп. . –М. : Ко-Либри, Азбука-Аттикус, 2020. – 736 с.

22. Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer.

23. Paté-Cornell, M. E. (2012). On Black Swans and Perfect Storms: risk analysis and management when statistics are not enough. *Risk analysis*, 32(11), 1823–1833.

24. Forrester, J.W. (1961). Industrial Dynamics. MIT Press : [website]. – Mode of access: http://www.laprosperspective.fr/dyn/francais/memoire/autres_textes_de_la_prosperspective/autres_ouvrages_numerises/industrial-dynamics-forrester-1961.pdf (date of access: 15.07.2024).

25. Vlek, C., & Steg, L. (2007). Human Behavior and Environmental Sustainability: Problems, Driving Forces, and Research Topics. *Journal of Social Issues*, 63(1), 1–19.

26. Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2–3), 183–213.
27. Elvik, R. (2009). The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses. Institute of Transport Economics, Oslo : [website]. – URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13206>. (date of access: 15.07.2024).
28. Senge, P.M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Doubleday/Currency : [website]. – URL: <https://www.e-education.psu.edu/geog468/sites/www.e-education.psu.edu/geog468/files/TheFifthDiscipline.pdf> (date of access: 15.07.2024).
29. Hollnagel, E., Woods, D.D., & Leveson, N. (2006). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Ashgate Publishing : [website]. – URL: <https://www.ida.liu.se/~729A98/Seminarier/articles/woods.pdf> (date of access: 15.07.2024).
30. Dekker, S. (2011). *Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems* (1st ed.). CRC Press.
31. Богданович, С. В. Анализ возможностей применения методов машинного обучения и анализа больших данных для выявления факторов риска в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры / С. В. Богданович, Д. В. Капский // *Современные технологии в транспортной отрасли : электрон. сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 25–26 апр. 2024 г. / Полоц. гос. ун-т имени Евфросинии Полоцкой. – Новополоцк, 2024. – С. 114–117.*
32. Богданович, С. В. Концепция создания транспортной информационно-сервисной платформы на основе технологии интернета вещей / С. В. Богданович // *Автотракторостроение и автомобильный транспорт. Сборник научных трудов : в 2 томах. – Минск : БНТУ, 2022. – Том 2. – С. 117–120.*
33. Капский, Д. В. Дизайн города и «транспортный» прогресс, обусловленный технологическим сдвигом / Д. В. Капский, С. В. Богданович, С. А. Ляпин // *Мир транспорта и технологических машин. – Минск : БНТУ, 2024. – № 1-1(84). – С. 119–130.*
34. Капский, Д. В. Чувствительность транспортной отрасли к изменению климата / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – №1 – 2023. – Полоцк, 2023. – С. 54–59.*

BOGDANOVICH Sergey V., Ph. D. in Eng., Ass. prof.,
Ass. prof. of the department «Transport systems and technologies»
email: bsw001@gmail.com

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 16 July 2024

METHODOLOGY FOR SYSTEMATIC ANALYSIS OF FEEDBACK LOOPS AND LONG-TERM EFFECTS IN ROAD INFRASTRUCTURE SAFETY MANAGEMENT

This article presents a comprehensive methodology for systematic analysis of feedback loops and long-term effects in road infrastructure safety management. The research aims to develop an innovative approach to assessing and improving road safety, taking into account the complexity and dynamism of transport systems.

The methodology is based on the integration of system dynamics modeling, machine learning methods, and expert assessments. It allows for identifying and analyzing feedback loops in the road infrastructure safety system, predicting long-term consequences of decisions, and developing more effective management strategies.

The article discusses the theoretical foundations of systematic analysis of road infrastructure safety, methods for quantitative and qualitative assessment of feedback loops, and approaches to analyzing long-term consequences. Special attention is paid to an integrated approach that combines various methods and tools for comprehensive analysis.

The author provides recommendations for implementing the developed methodology in management practice, considering possible limitations and adaptation to different contexts. The prospects for the development of the methodology are also discussed, including the integration of the latest technologies and consideration of global trends affecting road safety.

The research has significant practical value, providing tools for making more informed decisions in the field of road infrastructure safety management. The application of the proposed methodology can contribute to reducing the number of road traffic accidents and associated losses, improving the quality of life and economic well-being of society.

Keywords: Road infrastructure safety, Systems analysis, Feedback loops, Long-term effects, System dynamics modeling, Risk management

References

1. Wambulwa, William Majani; Job, Raymond Franklin Soames; Turner, Blair Matthew. Guide for Road Safety Opportunities and Challenges : Low and Middle Income Country Profiles (English). Washington, D.C. : World Bank Group : [website]. – URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/447031581489115544/Guide-for-Road-Safety-Opportunities-and-Challenges-Low-and-Middle-Income-Country-Profiles> (date of access: 15.07.2024).

2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision : [website]. – URL: [https:// population.un.org/wup/Publications/Files/ WUP 2018-Report.pdf](https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP_2018-Report.pdf). (date of access: 15.07.2024).

3. Kapsky, D. V. Methodology for assessing the impact of climate change, vulnerability and

climatic risks in the transport system in the Republic of Belarus/ D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich, Yu. V. Burtyl. – Minsk: BNTU, 2022. – 256 p. (in Russian)

4. Salmon, Paul M.; Lenné, Michael G. . (2015). Miles away or just around the corner? Systems thinking in road safety research and practice. Accident Analysis & Prevention, 74, 243–249.

5. Global status report on road safety 2023. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO : [website]. – URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf> (date of access: 15.07.2024).

6. Khan, Md Nasim & Das, Subasish. (2024). Advancing Traffic Safety through the Safe System Approach: A Systematic Review. Accident Analysis & Prevention. 199.

7. Shi, Qi & Abdel-Aty, Mohamed (2015). Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58.
8. Salmon, Paul M.; Lenné, Michael G. (2015). Miles away or just around the corner? Systems thinking in road safety research and practice. *Accident Analysis & Prevention*, 74(), 243–249.
9. Leveson, N. (2011). *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety*. MIT press. IGO [website]. – URL: <http://sunnyday.mit.edu/safer-world.pdf> (date of access: 15.07.2024).
10. Wegman F.; Aarts L.; Bax Ch. (2008). Advancing sustainable safety: National road safety outlook for The Netherlands for 2005–2020. 46(2), 323–343.
11. Sterman, John. (2000). *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World* : [website]. – URL: [http://lst-iiiep.unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=013598/\(100\).19](http://lst-iiiep.unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=013598/(100).19) (date of access: 15.07.2024).
12. Nævestad, T. O., & Bjørnskau, T. (2011). How Can the Safety Culture Perspective be Applied to Road Traffic? *Transport Reviews*, 32(2), 139–154.
13. Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons : [website]. – URL: http://repo.darmajaya.ac.id/4781/1/Time%20Series%20Analysis_%20Forecasting%20and%20Control%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf (date of access: 15.07.2024).
14. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press : [website]. – URL: http://imlab.postech.ac.kr/dkim/class/csed514_2019s/DeepLearningBook.pdf (date of access: 15.07.2024).
15. Linstone, H. A., & Turoff, M. (Eds.). (1975). *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading, MA: Addison-Wesley : [website]. – URL: https://www.foresight.pl/assets/downloads/publications/Turoff_Linstone.pdf (date of access: 15.07.2024).
16. Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159(3), 673–686.
17. Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40.
18. Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25–40.
19. Pearl, J. (2009). *Causality: Models, reasoning, and inference*. Cambridge university press.
20. Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., ... & Tarantola, S. (2008). *Global sensitivity analysis: the primer*. John Wiley & Sons : [website]. – URL: http://www.andreasaltelli.eu/file_repository/A_Saltelli_Marco_Ratto_Terry_Andres_Francesca_Campolongo_Jessica_Cariboni_Debora_Gatelli_Michaela_Saisana_Stefano_Tarantola_Global_Sensitivity_Analysis_The_Primer_Wiley_Interscience_2008.pdf (date of access: 15.07.2024).
21. Taleb, N. N. *Black Swan. Under the sign of unpredictability*. – 2nd ed., supplement. – N. N. Taleb. – M. : KoLibri, Azbuka-Atticus, 2020. – 736 p. (in Russian)
22. Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer.
23. Paté-Cornell, M. E. (2012). On "Black Swans" and "Perfect Storms": risk analysis and management when statistics are not enough. *Risk analysis*, 32(11), 1823–1833.
24. Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT Press : [website]. – Mode of access: http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/autres_textes_de_la_prospective/autres_ouvrages_numerises/industrial-dynamics-forrester-1961.pdf (date of access: 15.07.2024).
25. Vlek, C., & Steg, L. (2007). Human Behavior and Environmental Sustainability: Problems, Driving Forces, and Research Topics. *Journal of Social Issues*, 63(1), 1–19.
26. Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2–3), 183–213.
27. Elvik, R. (2009). *The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses*. Institute of Transport Economics, Oslo : [website]. – URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13206> (date of access: 15.07.2024).
28. Senge, P.M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Doubleday/Currency : [website]. – URL: https://www.e-education.psu.edu/geog468/sites/www.e-education.psu.edu/geog468/files/The_FifthDiscipline.pdf (date of access: 15.07.2024).
29. Hollnagel, E., Woods, D.D., & Leveson, N. (2006). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Ashgate Publishing : [website]. – URL: <https://www.ida.liu.se/~729A98/Seminarier/articles/woods.pdf> (date of access: 15.07.2024).
30. Dekker, S. (2011). *Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems* (1st ed.). CRC Press.
31. Bogdanovich, S. V. *Analysis of possibilities of using machine learning methods and big data analysis to identify risk factors in road infrastruc-*

ture safety management / S. V. Bogdanovich, D. V. Kapsky // Modern technologies in the transport industry [Electronic resource]: Electronic collection of articles. International scientific-technical conf., Novopolotsk, April 25–26, 2024 / Polotsk. 2024 / Polotsk State University named after Euphrosyne Polotskaya. – Novopolotsk, 2024. – pp. 114–117. (in Russian)

32. Bogdanovich. S. V. Concept of creation of transport information-service platform based on the Internet of Things technology / S. V. Bogdanovich // Autotractor building and automobile transport. Collection of scientific works.

In 2 volumes. – Vol. 2. – Minsk: BNTU. 2022. – pp. 117–120. (in Russian)

33. Kapsky, D. V. City design and "transport" progress due to technological shift / D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich, S. A. Lyapin // World of transport and technological machines. – 2024. – № 1-1(84). – pp. 119–130. (in Russian)

34. Kapsky, D. V. Sensitivity of the transport industry to climate change / D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich, Y. V. Burtyl // Bulletin of Polotsk State University. Series B. – №1. – 2023. – Polotsk, 2023. – pp. 54–59. (in Russian)

УДК 53.083.7, 621.33

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 01.10.2024

СПОСОБЫ УЧЕТА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА.

Оперативное управление техническим обслуживанием и ремонтом электрических автотранспортных средств (ЭАТС) значительно улучшается благодаря качественному анализу их состояния в процессе эксплуатации. Корректирование режимов эксплуатации электрических автотранспортных средств с использованием автоматизированной системы учета фактической работы ЭАТС позволит рассчитывать периодичности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта, общего пробега до капитального ремонта или списания с учетом коэффициентов. Идеальным решением для функционирования автоматизированной системы является оперативный контроль ЭАТС объема выполненной работы при движении в различных условиях эксплуатации путем считывания комплекса технических эксплуатационных параметров. Одним из способов является определение коэффициента суммарного дорожного сопротивления на основании информации датчиков тока, скорости движения электрического автотранспортного средства, частоты вращения вала электродвигателя и нагрузки на ось. Значение коэффициента суммарного дорожного сопротивления может быть заложено в основу автоматизированного расчета коэффициента, учитывающего условия эксплуатации при выполнении фактической работы ЭАТС. Наибольшей точностью и информативностью обладает способ учета условий эксплуатации при определении коэффициента корректирования нормативов, на основании данных, получаемых от системы транспортной телематики предварительно сформированными в блоке

обработки информации на борту электрического автотранспортного средства. Кроме этого обработка выборки комплекса параметров на сервере, после их передачи и хранения за определенный период эксплуатации, позволит выполнять диагностирование систем по плавно-изменяющимся характеристикам, прогнозировать работоспособность электрических автотранспортных средств.

Ключевые слова: условия эксплуатации, сила тока, расход электроэнергии, скорость, нагрузка, дорожное сопротивление, коэффициент.

Введение

Выполнение транспортной работы с наименьшими расходами зависит от ряда обязательных требований эксплуатации электрических автотранспортных средств: своевременное качественное диагностирование, выполнение технического обслуживания и текущего ремонта. Отдельным пунктом следует выделить прогнозирование отказов и планирование технических воздействий. В планово-предупредительной системе корректирование пробега до капитального ремонта, периодичностей технического обслуживания и удельной трудоемкости текущего ремонта автотранспортных средств выполняется с использованием ряда корректирующих коэффициентов. Автоматизация расчетов ограничивается сложностью определения фактического значения коэффициента корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации K_1 .

Маршруты электрических автотранспортных средств индивидуальны, состоят из участков движения с различными дорожными условиями и с особенностями режимов движения. Поэтому следует определять коэффициент по технической категории дороги, состоянию покрытия и типу рельефа местности, населенности геозоны.

Основная часть

Целью данной работы является выбор способа определения коэффициента корректирования нормативов ЭАТС в зависимости от условий эксплуатации для выполнения автоматизированного расчета периодичностей и трудоемкостей технических воздействий на основе телематики транспортных средств и дистанционной.

Учет условий эксплуатации ЭАТС на основании телематических данных о положении автотранспортного средства. Коэффициент корректирования нормативов ЭАТС, учитывающий условия эксплуатации с различными параметрами геозон производится с использованием геолокации. Данный коэффициент учитывает статус дороги, расположение над уровнем моря в различных точках и расстояние

от города. Для расчета коэффициента K_1 нужна карта местности с привязкой автотранспортного средства с использованием телематических данных [2]:

$$K_1 = K_{st} \cdot K_H \cdot K_l, \quad (1)$$

где: K_{st} – коэффициент, учитывающий качество дорожного покрытия (статус дороги);

K_H – коэффициент, учитывающий расположение над уровнем моря;

K_l – коэффициент, учитывающий расстояние от города.

Расположение над уровнем моря в современных системах навигации определяется автоматически при наличии трех и более спутников в видимости приемника сигналов спутника. Качество дорожного покрытия (статус дороги) и расстояние до города рассчитываются путем наложения фактического положения и движения электрического транспортного средства на карту. Данные параметры с легкостью и высокой точностью преобразуются в коэффициент корректирования K_1 . Указанный способ требует обработки огромного количества картографических данных. Однако применение его необходимо для верификации обобщенного коэффициента как на этапе испытаний, так и для построения испытательного маршрута. Применение нейросети в данных расчетах позволит ввести прогнозные показатели по перемещению электрического транспортного средства, и как результат совершенствовать эксплуатационные характеристики.

Учет условий эксплуатации ЭАТС на основании телематических данных по энергопотреблению и скорости движения. Данный способ предполагает определять коэффициент корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации основным энергетическим параметрам работы ЭАТС.

Возвращаясь к вышеуказанному коэффициенту, учитывающему статус дороги, следует отметить, что его можно представить как функцию от скорости движения ЭАТС при некоторых заданных условиях потребления электроэнергии, таких как разгон, установившееся

движение и торможение с рекуперацией. Наиболее подходящим для предварительных испытаний и верификации с предыдущим способом следует выбрать режим установившегося движения. Получение данных о скорости движения электрического автотранспортного средства возможно от датчика скорости, тахометра, тахографа или внутренней системы передачи данных и навигационной системы. Использование источников внешних и внутренних источников данных скорости значительно повышает точность, например учитывает проскальзывание колес особенно в зимнее время. Формула расчета коэффициента статуса дороги в таком случае имеет вид:

$$K_{st} = f(V_E(t)), \quad (2)$$

где V_E – скорость движения электрического автотранспортного средства;

t – элементарный временной интервал считывания данных скорости.

Следует также отметить, что при неизменных внешних условиях по данной формуле можно определять состояние дорожного покрытия и при необходимости проводить верификацию данных о реальном состоянии дороги. Другими словами, каждое электрическое автотранспортное средство, оснащенное данной системой, может стать анализатором состояния дорожного покрытия.

Коэффициент, учитывающий расстояние от города, определяется функциями скорости движения транспортного средства (V) и силы потребляемого тока электрическим автотранспортным средством (I):

$$K_l = f(V_E(t), I(t)), \quad (3)$$

где I – сила потребляемого тока электрическим автотранспортным средством.

При преодолении возвышенностей, подъемов и уклонов более эффективным параметром для считывания является скорость движения транспортного средства (V_E) и расход электрической энергии, которая определяется в первую очередь силой тока (I), считанные с помощью системы транспортной телематики:

$$K_H = f(V_E(t), I(t)). \quad (4)$$

Так как все составляющие коэффициенты в соответствии с формулами (2), (3), (4) включают скорость движения электрического автотранспортного средства (V_E) и силу потребляе-

мого тока электрическим автотранспортным средством (I), то результирующая формула преобразуется в следующий вид:

$$K_1 = f(V_E(t), I(t)). \quad (5)$$

При выполнении расчета коэффициента K_l следует считывать данные скорости движения и силы потребляемого тока с электрических автотранспортных средств следует с определенным одинаковым интервалом времени.

Выполняемая транспортная работа пропорциональна величине силы тока, потребляемого электрическим двигателем. Однако сила тока в цепи двигателя от режима работы ЭАТС и скорости движения, в связи с этим, для описания коэффициента, учитывающего условия эксплуатации следует применить систему:

$$\begin{cases} K_1 = f(V_E(t), I(t)), \\ I = f(V_E(t)). \end{cases} \quad (6)$$

Указанная система уравнений имеет сложную нелинейную зависимость и для ее реализации необходимо применить трехмерный массив данных, который закладывается по результатам экспериментальных исследований с использованием учета условий эксплуатации ЭАТС на основании телематических данных о положении электрического автотранспортного средства [2].

Способ учета условий эксплуатации ЭАТС на основании телематических данных по потреблению электрической энергии и скорости движения путем создания трехмерного массива данных по результатам экспериментальных исследований обладает высокой информативностью и точностью, но имеет высокую трудоемкость при создании массивов. Введение нейросетей в обработку данных массива позволит выполнять прогнозирование движения электрических автотранспортных средств с наибольшей эффективностью. Предварительные испытания требуется выполнять на стенде тягово-экономических показателей.

Учет условий эксплуатации ЭАТС на основании коэффициента суммарного дорожного сопротивления с использованием данных о расходе электроэнергии, скорости движения, веса и КПД электропривода ЭАТС. Коэффициент суммарного дорожного сопротивления в полной мере отражает условия эксплуатации ЭАТС и будет применен в основу обобщающего коэффициента корректирования нормативных данных пробега до капитального ремонта, периодически технического обслуживания и удельной тру-

доемкости текущего ремонта автотранспортных средств. В отличие от автотранспортных средств с двигателем внутреннего сгорания, просчитать зависимости коэффициента суммарного дорожного сопротивления и обобщающего коэффициента корректирования нормативных данных для электрических автотранспортных средств значительно проще.

Исключение из формулы только индикаторного КПД двигателя внутреннего сгорания позволит не учитывать следующие факторы [5]:

- качество топлива (влияние октанового числа и способа смесеобразования);
- состав смеси (влияние коэффициента избытка воздуха);
- угол опережения зажигания (влияние отклонения угла опережения зажигания от оптимального);
- частота вращения коленчатого вала (влияние роста частоты вращения коленчатого вала на увеличение индикаторного КПД);
- нагрузка на ДВС;
- тип камеры сгорания;
- степень сжатия;
- наполнение цилиндров (влияние увеличения температуры окружающей среды и снижения давления);

Коэффициент суммарного дорожного сопротивления Ψ_{Σ} будет определяться после преобразования по формуле [3]:

$$\Psi_{\Sigma} = \frac{P_E - A \cdot i_k - B \cdot i_k^2 \cdot V_E}{C \cdot G_E} - \frac{0,077 \cdot C \cdot K \cdot F \cdot V_E^2}{C \cdot G_E}, \quad (7)$$

где P_E – электрическая мощность электрического автотранспортного средства, Вт;

i_k – передаточное число редуктора;

G_E – вес ЭАТС, Н;

V_E – скорость движения транспортного средства, км/ч;

K – коэффициент сопротивления воздуха, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$;

F – лобовая площадь транспортного средства, м^2 .

$$P_E = U \cdot I, \quad (8)$$

где: I – сила тока, потребляемая электрическим двигателем, А;

U – напряжение питания электрического двигателя, В.

В указанной формуле коэффициент суммарного дорожного сопротивления обратно про-

порционален весу автотранспортного средства и прямо пропорционален мощности электро-энергии с учетом скорости движения.

В отличие от механических и автоматических коробок переключения передач автотранспортных средств с изменяющимся передаточным числом в электрическом транспортном средстве имеется редуктор с 1 или иногда с несколькими передаточными числами. В случае отсутствия сцепления исключаются пробуксовки в трансмиссии в процессе эксплуатации, что позволит повысить точность измерений при различной загрузке электрического автотранспортного средства. Проверить правильность значения передаточного числа редуктора и всей трансмиссии i_k можно определить по показаниям скорости движения автотранспортного средства V_E и частоты вращения вала электродвигателя, поэтому сигналы датчиков скорости ЭАТС и частоты вращения вала необходимо принимать в качестве корректирующих параметров. Зачастую данные параметры отображаются в шине данных CAN. Скорость движения транспортного средства V_E может быть определена кроме указанных выше способов, по данным мониторинга систем GPS или ГЛОНАСС, что позволяет зачастую выявить проскальзывание колес с дорожным покрытием.

Вес автомобиля G_E зависит от загрузки и может быть определен с учетом собственной массы и массы перевозимого груза по датчику нагрузки на ось.

A , B и C – постоянные коэффициенты для каждого конкретного автомобиля, зависящие от массы и мощности электрического двигателя, передаточного числа главной передачи, радиуса качения колес, КПД трансмиссии автомобиля, емкости высоковольтных накопителей энергии и их массогабаритных размеров.

Одновременно с этим лобовая площадь транспортного средства также является постоянной величиной. Сюда же следует отнести и коэффициент сопротивления воздуха K . Эти коэффициенты являются постоянными для каждого конкретного электрического автотранспортного средства и определяются по марке, модели и модификации транспортного средства. Данные постоянных параметров транспортного средства фиксируются при поступлении на предприятие, или же сохраняются в бортовом блоке транспортного средства. Они могут быть изменены, синхронно с проводимыми изменениями на автотранспортном средстве.

Учет условий эксплуатации АТС на основании коэффициента суммарного дорожного сопротивления с использованием данных

скорости, веса АТС и мощности электрического двигателя. Для снижения погрешности при определении коэффициента суммарного дорожного сопротивления рекомендуется ввести определение крутящего момента электрического двигателя. Существует несколько подходов по определению крутящего момента на колесах электрических автотранспортных средств. Первый из них предполагает измерение крутящего момента по реакциям опор электродвигателя двигателя, однако, данный подход приводит к увеличению погрешности и усложнению конструкции опор двигателя, что в свою очередь значительно удорожает конструкцию. На этапе проектирования испытания и верификации данных, получаемых при других подходах, указанный способ оправдан в полной мере.

Разновидностью предложенного способа является определение крутящего момента на карданном валу с учетом потерь в редукторе. Подобным способом определяется крутящий момент на приводном валу или колесе ЭАТС, с учетом КПД трансмиссии.

Для электрических автотранспортных средств с использованием асинхронного трехфазного тягового двигателя предполагается проводить определение крутящего момента по скольжению ротора относительно поля статора [5].

Учет условий эксплуатации ЭАТС на основании коэффициента суммарного дорожного сопротивления по коэффициенту сопротивления качению и углу уклона дорожного покрытия. Определение коэффициента суммарного дорожного сопротивления с некоторыми ограничениями проводится с использованием формулы дорожного сопротивления [6]:

$$\psi = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (9)$$

где f – коэффициент сопротивления качению электрического автотранспортного средства;

α – угол уклона дорожного покрытия, град.

Данный способ реализуется при выполнении ряда условий: проверка должна проводиться при отсутствии ускорения электрического автотранспортного средства; калибровка происходит при движении по ровной горизонтальной поверхности. Перед проведением испытаний на ЭАТС монтируется датчик ускорения и измеритель угла уклона.

Определение коэффициента сопротивления качению f , заключается в разгоне до определенной скорости электрического автотранспортного средства, в отключении питания электродвигателя без включения рекуперации

и свободном выбеге по инерции до полной остановки, измеряется путь выбега и рассчитывается коэффициент сопротивления качению по формуле [7]:

$$f = \frac{\delta \cdot V_H^2}{2 \cdot g \cdot S}, \quad (10)$$

где δ – коэффициент учета вращающихся масс;
 V_H – начальная скорость выбега электрического автотранспортного средства, км/ч;
 g – ускорение силы тяжести, м/с²;
 S – путь выбега, м.

Коэффициент сопротивления качению в зависимости от скорости движения для электрических автотранспортных средств рассчитать по эмпирической формуле:

$$f = \frac{115 + V_E}{10000}, \quad (11)$$

где V_E – скорость ЭАТС, км/ч.

Другой способ определения коэффициента сопротивления качению по результатам испытаний, заключается в буксировке электрического автотранспортного средства с отключенной рекуперацией по дороге равномерно с небольшой скоростью тягачом через динамометр. Коэффициент сопротивления качению рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{P_f}{G_E}, \quad (12)$$

где P_f – сила сопротивления качению (показания динамометра), Н;

G_E – вес электрического автотранспортного средства, Н.

Так как электрическое автотранспортное средство работает в режиме, не соответствующему реальному процессу его испытаний без учета затрат мощности на преодоление сил сопротивления движению, в частности подъему, а также сил трения в трансмиссии, то данный способ имеет явный недостаток. Однако определение движения автомобиля, давления воздуха в шине, действия тормозного и тягового моментов можно выявить сложные зависимости и значительно повысить точность определения коэффициента сопротивления качению [7].

Учет условий эксплуатации ЭАТС на основании коэффициента суммарного дорожного сопротивления с определением коэффициента пропорциональности, характерного для каж-

дого типа электрического автотранспортного средства и отражающего его конструктивные особенности.

Одним из интересных решений является определение коэффициента суммарного сопротивления движению упрощенным способом через энергетические затраты электрического двигателя (мощность, скорость движения) на преодоление суммарных сил сопротивления движению транспортного средства, включающих в себя силы сопротивления качению, подъему, колебаниям подрессоренной массы, воздуха и прицепа с учетом потерь мощности в трансмиссии и скорости движения. При перемещении испытуемого транспортного средства определяется средняя мощность, потребляемая электродвигателем и реализуемая при этом средняя скорость движения в неустановившемся режиме движения, определенном профилем и несущей способностью опорной поверхности. Коэффициент суммарного сопротивления движению определяется по зависимости [6]:

$$\psi_{\Sigma j} = n \cdot \frac{\bar{P}_{Ej}}{\bar{V}_j}, \quad (13)$$

где: $\bar{P}_{Ej}$ – средняя мощность на j -й опорной поверхности, Вт/100 км;

$\bar{V}_j$ – средняя скорость движения на j -й опорной поверхности, км/ч;

n – коэффициент пропорциональности, характерный для каждого типа электрического автотранспортного средства и отражающий его конструктивные решения.

В свою очередь величину n по испытуемому колесному электрическому автотранспортному средству определяют по известному значению коэффициента суммарного сопротивления движению, соответствующему дороге с ровным твердым покрытием, равным 0,025 для колесных машин, а $\bar{P}_{Ej}$ и $\bar{V}_j$ – по контрольной мощности испытуемого транспортного средства и скорости движения.

Предлагаемый способ относительно прост в применении по сравнению с предыдущими. Однако такой способ можно использовать только в режиме установившегося движения. При этом коэффициент пропорциональности, характерный для каждого типа электрического автотранспортного средства и отражающий его конструктивные решения должен включать вес ЭАТС.

Ускорение и замедление электрического автотранспортного средства имеет самое сильное

влияние на мощность, наработку на отказ, периодичность технического обслуживания и трудоемкость выполняемых работ. Инерционные свойства напрямую связаны с массой электрического автотранспортного средства. В расчетах обязательно необходимо учитывать нелинейность, которую дают инерционные силы.

С использованием систем мониторинга и транспортной телематики, ускорение и замедление электрического автотранспортного средства определяется как производная от скорости. Однако для верификации данных ускорения и учета погрешностей необходимо провести испытания с датчиком ускорения. При движении с ускорением и замедлением увеличивается проскальзывание шин с дорожным покрытием, что требует дополнительных корректирующих мер, с использованием навигационной системы.

Замедление электрических автотранспортных средств в режиме рекуперации производится торможением электродвигателем. В таком случае электродвигатель работает как генератор и преобразует механическую энергию в электрическую в объеме, необходимом для получения требуемого замедления. регулирование отбора электроэнергии производит инвертор в зависимости от степени нажатия на педаль тормоза. При снижении скорости электрического автотранспортного средства до низкого коэффициента работы двигателя-генератора, а также при экстренном торможении подключается штатная тормозная система [5].

Учет условий эксплуатации ЭАТС по коэффициенту суммарного дорожного сопротивления следует применять только в режиме установившегося движения и при проведении испытаний. Коэффициент пропорциональности, применяемый при расчете для каждого типа электрического автотранспортного средства, отражающий его конструктивные решения должен включать вес.

Для участков с неустановившимся движением следует применять метод дифференцирования данных по участкам движения с использованием данных о положении электрического автотранспортного средства над уровнем моря, подъема и спуска, ускорения, замедления, силы и направления ветра. Использование датчика крутящего момента на колесе, карданном валу или полуоси, выполняющего функцию обратной связи позволит системе проводить диагностирование электрического транспортного средства с возможностью определения КПД и фактической работы, и исключать влияние неисправностей на изменение коэффициентов [9].

Заключение

На этапе испытаний в режиме установившегося движения определение коэффициента корректирования нормативов следует применять учет условий эксплуатации ЭАТС по коэффициенту суммарного дорожного сопротивления на основании информации затрачиваемой мощности и скорости движения электрического автотранспортного средства, а для расчета коэффициента пропорциональности использовать информацию веса ЭАТС.

Наиболее точным и информативным является способ учета условий эксплуатации при определении коэффициента корректирования нормативов, на основании данных, получаемых от системы транспортной телематики предварительно сформированными в блоке обработки информации на борту электрического автотранспортного средства.

Обработка выборки комплекса параметров на сервере, после их передачи и хранения за определенный период, позволит выполнять диагностирование систем по плавно-изменяющимся характеристикам, прогнозировать работоспособность электрических автотранспортных средств, а также автоматизировать систему технического обслуживания и ремонта.

Литература

1. Технический кодекс установившейся практики: ТКП 248-2010: Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения = Тэхнічнае абслугоўванне і рамонт аўтамабільных транспартных сродкаў. Нормы і правілы правядзення. – введ. РБ 13.05.2010 // Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации. – Минск, 2010.

2. Гурский, А. С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А. С. Гурский, В. С. Ивашко // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия фи-

зико-технических наук – 2020. – Т. 65. – № 3. – С. 375–383.

3. Гурский, А. С. Определение коэффициента суммарного дорожного сопротивления по расходу топлива/ А. С. Гурский// Научно-практический журнал «Изобретатель». – 2020. – № 2(238). – С. 7–13.

4. Стуканов, В. А., Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля / В. А. Стуканов. – М.: Форум-ИНФРА-М, 2005. – 368 с.

5. Гурский, А. С. Анализ тяговых электродвигателей электромобилей = Analysis of traction electric motors of electric vehicles / А. С. Гурский, Е. Л. Савич // Изобретатель. – 2022. – № 1–2. – С. 4–14.

6. Гурский, А. С. Анализ способов учета условий эксплуатации автотранспортных средств при определении корректирующих коэффициентов периодичности технического обслуживания и трудоемкости текущего ремонта. / А. С. Гурский // Научно-практический журнал «Изобретатель». – №1–2(242-243). – 2021. – С.13–21.

7. Анализ методов определения коэффициента сопротивления качению колес автомобиля / В. И. Клименко, С. Н. Шуклинов, Д. Н. Леонтьев, А. В. Губин // Автомобильный транспорт: Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – вип. 46. – 2020. – С. 33–39.

8. Гурский, А. С. Анализ тяговых электродвигателей электромобилей = Analysis of traction electric motors of electric vehicles / А. С. Гурский, Е. Л. Савич // Изобретатель. – 2022. – № 1–2. – С. 4–14.

9. Гурский, А. С. Метод реализации общего оперативного диагностирования механических и электрических автотранспортных средств по КПД / А. С. Гурский // Мир транспорта и технологических машин. Научно-технический журнал. – №3–5 (82). – ОГУ имени И.С. Тургенева, Россия. – 2023 – С. 18.

GURSKY Alexandr S., Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,
head of department «Technical operation of cars»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Received 01 October 2024

METHODS OF ACCOUNTING THE OPERATING CONDITIONS OF ELECTRIC VEHICLES WHEN DETERMINING CORRECTIVE COEFFICIENTS FOR THE FREQUENCY AND LABOR INTENSITY OF MAINTENANCE AND CURRENT REPAIRS.

The operational management of maintenance and repair of electric vehicles (EV) is significantly improved due to a qualitative analysis of their condition during operation. Adjusting the operating modes of electric vehicles using an automated accounting system for the actual operation of the EV will allow you to calculate the frequency and complexity of maintenance and repair, the total mileage before major repairs or write-off taking into account the coefficients. The ideal solution for the functioning of an automated system is the operational control of the EV of the amount of work performed while driving in various operating conditions by reading a set of technical operational parameters. One of the methods is to determine the coefficient of total road resistance based on information from current sensors, the speed of an electric vehicle, the speed of rotation of the motor shaft and the axle load. The value of the coefficient of total road resistance can be used as the basis for the automated calculation of the coefficient, taking into account the operating conditions when performing the actual operation of the EV. The most accurate and informative method is the method of taking into account operating conditions when determining the coefficient of adjustment of standards, based on data received from the transport telematics system performed in the information processing unit on board an electric vehicle. In addition, processing a sample of a set of parameters on the server, after their transfer and storage for a certain period of operation, will allow you to diagnose systems based on smoothly changing characteristics, predict the performance of electric vehicles.

Keywords: operating conditions, current, power consumption, speed, load, road resistance, coefficient.

References

1. Technical Code of Established Practice: TKP 248-2010: Maintenance and repair of motor vehicles. Norms and rules of conduct = introduction. RB 13.05.2010 // Belarusian State Institute of Standardization and Certification, Minsk, 2010.
2. Gursky, A. S. The use of transport telematics and remote diagnostics to improve the maintenance and repair of vehicles/ A. S. Gursky, V. S. Ivashko// Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and technical Sciences. – 2020. – vol. 65, № 3. – pp. 375–383.
3. Gursky, A. S. Determination of the coefficient of total road resistance by fuel consumption / A. S. Gursky // Scientific and practical journal "Inventor". – 2020. – № 2(238). – pp. 7–13.
4. Stukanov, V. A., Fundamentals of the theory of automobile engines and the automobile / V. A. Stukanov // M.: Forum-INFRA-M, 2005. – 368 p.
5. Gursky, A. S. Analysis of methods for taking into account the operating conditions of motor vehicles in determining the correction coefficients of the frequency of maintenance and the complexity of routine repairs. / A. S. Gursky // Scientific and practical journal «Inventor». – № 1–2(242–243). – 2021. – pp.13–21.
6. Analysis of methods for determining the coefficient of rolling resistance of car wheels / V. I. Klimenko, S. N. Shuklinov, D. N. Leontiev, A. V. Gubin // Automobile transport: Kharkiv National Automobile-Road University. – № 46, 2020. – pp. 33–39.
7. Gursky, A. S. Analysis of traction electric motors of electric vehicles = Analysis of traction electric motors of electric vehicles / A. S. Gursky, E. L. Savich // Inventor. – 2022. – № 1–2. – pp. 4–14.

9. Gursky, A. S. A method for implementing general operational diagnostics of mechanical and electric vehicles according to efficiency / A. S. Gursky // The world of transport and techno-

logical machines. Scientific and Technical Journal. – № 3–5 (82). – I. S. Turgenev OSU – Russia. – 2023. – p. 18.

УДК 629.021

БЕЛАБЕНКО Д. С., канд. техн. наук,
начальник отдела расчетов и научного сопровождения проектов
E-mail: megainventor@yandex.ru

ОАО «Минский завод колесных тягачей», Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 03.10.2024

О ТЕРМИНЕ «КОРОБКА ПЕРЕДАЧ»

В существующем многообразии научных и технических публикаций на тему коробок передач было выявлено неоднозначное использование термина «коробка передач». В методологии науки принят ряд правил, которыми необходимо пользоваться при составлении определений: соразмерности, запрета, простоты, компетентности и однозначности. Значительное искажение понятия «коробка передач» происходит в результате нарушения правила однозначности. Данный факт характерен как для современных работ последнего десятилетия, так и для более старых работ конца прошлого века. Наличие в публикациях, в том числе носящих учебный характер, многообразия определений понятия «коробка передач» может вызывать как сложности при освоении учебных курсов соответствующих дисциплин, так и трудности в коммуникации специалистов, придерживающихся различных точек зрения. В работе решались задачи по изучению многообразия определений понятия «коробка передач» в научных и технических публикациях, их классификации, выделению основных признаков. Выполнена систематизация определений по признакам, включаемым в понятие «коробка передач» типов передач и основания их составления. В результате анализа определены основные признаки и предложены формулировки дескриптивного и конструктивного определений для понятия «коробка передач».

Ключевые слова: коробка передач, трансмиссия, термин, определение, понятие, зубчатый механизм, передача.

Введение

С момента изобретения коробки передач (КП) прошло более ста лет. За это время появились новые типы механизмов и устройств, которые обеспечивают выполнение аналогичных функций. В научных публикациях встречается множество различных определений понятия КП. Такое разнообразие определений кроме мелких различий сопровождается включением в понятие КП различных типов передач и их комбинаций.

В данной работе исследуется понятие КП, систематизируются его определения, приведенные в различных публикациях. По результа-

там анализа предложена формулировка определения понятия КП, учитывающая отличительные признаки таких устройств.

Систематизация определений

Разными авторами термин КП используется для обозначения различных понятий. В существующем разнообразии определений понятия КП, существуют определения, сформулированные с нарушением правил построения определений. Например, правил соразмерности, запрета, простоты и компетентности [1, С. 79–80]. Нарушение этих правил несущественно искажают понятие КП. Нарушение правила одно-

значности, которое проявляется во включении в понятие КП различных типов передач и их комбинаций, искажает понятие значительно. В технике наряду с термином КП в применении, не касающемся автомобильной техники, используется термин «коробка скоростей» [2, С. 242]. В публикациях встречается термин «коробка перемены передач» [3, С. 52]. В соответствие ГОСТ 18667-73 термины «коробка скоростей» и «коробка перемены передач» не допускаются [4].

В табл. 1 даны ссылки на источники, содержащие понятие КП, в которых можно отнести к

одной из двух групп: первая включает в понятие КП только устройства с зубчатыми передачами, вторая – с другими типами передач. К первой группе, например, можно отнести определение, данное в справочнике А. Ф. Крайнева, в котором под КП подразумевается механизм, содержащий в отдельном корпусе зубчатые передачи со ступенчатым изменением передаточного отношения [5, С. 173]. При этом имеется ряд публикаций, в которых в понятие КП включены другие типы передач.

Таблица 1 – Систематизация определений по признаку типов передач, включаемых в понятие КП

Зубчатый механизм со ступенчатым переключением передач	Другие типы передач и их комбинации
Определение [2, С. 241; 5, С. 173; 6, С. 267; 7, С. 10; 8; 9, С. 7; 10, С. 27; 11, С. 4]	Классификация [4; 12, С. 21; 13, С. 187; 11, С. 4; 14, С. 4–8; 15, С. 69; 16; 17, С. 613–619; 18, С. 35;]
Коробка скоростей, отсутствует [19]	Отсутствует, классификация [20, С. 55; 21; 22; 23, С. 38–39; 24; 25; 26, С. 83]
Коробка скоростей [2, С. 242; 27]	Отсутствует [28, С. 3]*
Отсутствует, термин [3, С. 52; 29; 30, Главы 2 и 3; 31, С. 27; 32; 33, С. 248–255; 34, С. 17–51; 35]	
Термин [36; 37; 38, С. 5; 39, С. 162–163]	

Примечание: **коробка скоростей** – применяется схожий термин «коробка скоростей»; **отсутствует** – определение понятия «коробка передач» или «коробка скоростей» отсутствует; **классификация** – приводится классификация, в которой к коробкам передач относятся не только зубчатые механизмы, но и другие типы передач; **термин** – термин «коробка передач» упоминается только в отношении зубчатых механизмов; **определение** – имеется определение, включающее в понятие «коробка передач» только зубчатые механизмы; * В тексте и названии книги использован термин «гидромеханическая коробка передач».

Изучая разнообразие определений понятия КП через призму методологии науки, их можно разделить на дескриптивные и конструктивные [1, С. 122]. Первые описывают функции коробок передач, вторые – устройство. Дескриптив-

ное определение можно считать техническим заданием, а конструктивное – техническим предложением. В табл. 2 приведена систематизация источников, содержащих определения, по такому признаку.

Таблица 2 – Систематизация определений понятия КП по признаку основания их составления

Дескриптивное определение	Конструктивное определение
Определение или описание коробки передач <i>не конкретизируют</i> ее устройство, а содержат перечень выполняемых функций [4; 7; 8; 9; 10; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 19; 21; 22; 23; 29; 36; 37; 38; 40].	Определение или описание коробки передач <i>конкретизируют</i> ее устройство [2; 5; 6; 19; 24; 27; 29; 38].

В основном в рассмотренных источниках приводятся дескриптивные определения. В качестве примера можно привести следующее определение: КП «предназначена для изменения крутящего момента, передаваемого от двигателя к карданной передаче, для возможности движения автомобиля задним ходом и для длительного разъединения двигателя и трансмиссии» [23, С. 38].

Имеются и конструктивные определения: КП «является ступенчатым фрикционно-зубчатым трансформатором крутящего момента. Это по существу ряд редукторов с постоянными передаточными числами, соединенных в один агрегат и могущих переключаться»

[6, С. 267]; КП – «многозвенный механизм, в котором ступенчатое изменение передаточного отношения осуществляется при переключении зубчатых передач; предназначена для изменения частоты вращения ведомого вала при постоянной частоте вращения ведущего (коробка скоростей), либо для изменения подачи в металлорежущих станках (коробка подач)» [2, С. 241].

В некоторых источниках определение не приводится, но дается описание КП, которое в одной части соответствует дескриптивному определению, а во второй – конструктивному [19; 29; 38, С. 5]. Описание КП содержит принцип работы каждого типа передач [24].

Анализ

К основным признакам, используемым в определениях понятия КП, относятся: отдельный корпус и изменяемое передаточное отношение. Определения первой группы включают такие признаки как зубчатый механизм и дискретные значения изменяемого передаточного отношения. Также используется признак «преобразование»: КП «предназначена для преобразования крутящего момента и частоты вращения ...» [9, С. 7]; КП – «агрегат трансмиссии автомобиля, преобразующий крутящий момент по величине и направлению» [4]. Термин «устройства преобразования крутящего момента» применен для различных типов передач, входящих в трансмиссию автомобиля [9, С. 10].

Использование признака «преобразование» нельзя считать точным. Данный признак также относят к главной передаче, которая «предназначена для преобразования крутящего момента ...» и является общим для любых передач [29, С. 9]. Существенным признаком КП предпочтительней считать не преобразование, а наличие диапазона изменяемых передаточных отношений, что позволяет расширить силовой и скоростной диапазон машины.

В рассмотренных публикациях выявлен ряд противоречий. В случае, когда под КП понимают механизм с дискретными значениями изменяемого передаточного отношения, упоминание признаков «механическая» и «ступенчатая» совместно с термином КП является избыточным. Пример: «... *механические ступенчатые* коробки передач с *зубчатыми зацеплениями* ...» [9, С. 11]. С другой стороны, включая в понятие КП другие типы передач, такая фраза вполне уместна и служит для уточнения типа КП.

В одной из публикаций под КП понимается «... *механизм* трансмиссии, изменяющий при движении автомобиля соотношение между скоростями вращения коленчатого вала двигателя и ведущих колес» [11, С. 3]. Там же классификация содержит механический, гидравлический и электрический типы КП, что противоречит данному определению [11, С. 4].

В современном стандарте ГОСТ Р 59483-2021 под КП понимается «механизм трансмиссии, способный изменять крутящий момент и направление вращения выходного вала в зависимости от включенной передачи» [10]. Однако, как известно, КП позволяет изменять также направление действия крутящего момента и частоту вращения выходного вала по величине. Данные параметры изменяются не произ-

вольно, а в заданном диапазоне в соответствии с диапазоном передаточных отношений КП.

Известны конструкции трансмиссий, которые содержат несколько устройств, позволяющих расширять силовой и скоростной диапазоны машины. Например, использование совместно с КП в трансмиссии автомобиля дополнительной КП [29, С. 16–17]. Дополнительная КП может совмещаться в одном корпусе с раздаточной коробкой. При этом в ГОСТ 18667-73 несмотря на то, что под КП понимается устройство с любым типом передач и их комбинациями, под дополнительной КП понимается устройство с передачами только механического типа [4].

Неклассический пример устройства трансмиссии представлен в конструкции автомобиля Koenigsegg Regera [41]. В трансмиссии указанного автомобиля используются гидродинамическая и электродинамическая передачи. Данные передачи передают мощность параллельными потоками, которые суммируются с помощью механической передачи на каждом ведущем колесе. В таком случае электродинамическая передача, состоящая из электрогенератора и электродвигателя, не расположена в одном корпусе. Следовательно, понятие КП, неотъемлемо связанное с признаком размещения в отдельном корпусе, не может включать такую передачу.

В теории решения изобретательских задач изучаются закономерности развития технических систем, в соответствии с которыми последние стремятся к идеальности [42]. В процессе развития технические системы могут изменяться с передачей выполняемых функций от одного элемента системы к другому, в том числе с исключением элементов из системы [43]. Опираясь на такой подход, можно рассматривать трансмиссию как техническую систему, одной из функций которой является расширение силового и скоростного диапазона машины. Такую функцию в соответствии с рассмотренными публикациями выполняет КП. В такой интерпретации допускается отсутствие КП, как части трансмиссии.

Между двумя группами определений понятия КП существенным отличием является то, что в соответствии с первой группой определений КП является одним из элементов трансмиссии, который может выполнить эту функцию, в соответствии со второй – единственным элементом.

Исторически термин КП относится к зубчатым механизмам с переменной структурой [11, С. 4]. Со временем были созданы новые

устройства, обеспечивающие выполнение аналогичных функций. Авторы публикаций, представленных в табл. 1, приняли одну из двух точек зрения: считают КП составной частью новых типов передач (например, гидромеханических или электромеханических передач); включили в понятие КП другие типы передач.

Термины КП и «коробка скоростей» в английском языке имеют единственный аналог – «gear-box», который предполагает применение зубчатых передач [44, С. 19]. Русскоязычный термин КП не указывает на тип передач.

Таким образом, отмеченные противоречия представляются неразрешимыми в рамках рассмотренных представлений подобно следствию, вытекающему из обобщения Теоремы Гёделя о неполноте формальной системы [1, С. 75]. Несмотря на формальную неразрешимость противоречий, по мнению автора, имеется ряд доводов в пользу одной из точек зрения.

В случае классификации совокупности элементов электрической, электромеханической и гидростатической трансмиссий в качестве КП возникает противоречие, связанное с тем, что эти элементы не составляют целостный объект и не расположены в одном корпусе, связаны между собой электрической проводкой или гидравлическими линиями. По мнению автора, такие конструкции нельзя считать самостоятельным устройством. Это система, включающая отдельные устройства.

В некоторых классификациях выделяют электромеханическую КП [20, С. 55; 26, С. 83]. При этом в дальнейшем в тексте идет речь об электромеханической передаче [20, С. 56]. В современных работах о трансмиссиях электромобилей из электромеханического привода выделяют КП, как механическую многоступенчатую передачу [45; 46]. В таком применении термина КП автор видит противоречие: во втором примере механическая ступенчатая передача является КП, в первом – частью КП. Для исключения двусмысленности логичным представляется термин КП применять для механических передач, а электромеханическую передачу отнести к понятию «трансмиссия» подобно классификации трансмиссий в [38, С. 5].

В качестве довода можно привести подход методологии науки при построении новой теории и ярко продемонстрированный на примере развития представлений о рефлексии [1, С. 60–61, 100–102]. Например, при переходе от классической к неклассической, а затем к постнеклассической рефлексии (как и при построении новой теории) объекты и соответствующие им термины, ранее примененные,

дополняются новой совокупностью объектов, сохраняя свои определения, перенося описания и действия с ними на другие объекты. Новые объекты не включаются в ранее существовавшие понятия. Таким образом, исходя из практики методологии науки, можно заключить, что термин КП, исторически применявшийся к понятию, включающему только передачи с зубчатыми колесами, необходимо включить в более широкую группу устройств с перенесением свойств КП на новые объекты.

Автор предлагает принципиальным отличием КП от других аналогичных устройств считать использование только механических передач (в основном зубчатых), дискретное (ступенчатое) изменение передаточного отношения в заданном диапазоне. Такой подход к понятию КП характерен для многих ученых (первый столбец табл. 1).

Расширение силового и скоростного диапазона машины может происходить не только за счет изменения передаточного отношения (ступенчатого или бесступенчатого), но и за счет изменения величин силового и скоростного параметров источников энергии.

На основании проведенного анализа и представленных доводов может быть предложено определение понятия КП, которое исключит двусмысленность и будет содержать минимально необходимый набор признаков, характерных для одной из групп определений, представленных в табл. 1.

Автор предлагает следующие определения. **Дескриптивное:** КП – часть трансмиссии переменной структуры, позволяющая в заданном диапазоне дискретно изменять передаточные отношения между входными и выходными валами. **Конструктивное:** КП – механизм трансмиссии, состоящий из валов, двух или более передач в общем корпусе, позволяющий изменять связи между своими элементами и передавать мощность с возможностью разрыва ее потока от входных к выходным валам.

Заключение

Можно выделить две группы определений понятия КП по признаку учитываемых типов передач. Исходя из определений первой группы, под КП понимается механическая передача, второй группы – любые типы передач и их комбинации. Следовательно, существует двусмысленность в применении термина КП, что может приводить с одной стороны к усложнению процесса обучения для студентов, с другой – к затруднению коммуникации специалистов.

Двусмысленность понятия КП может быть исключена путем введения в один из действующих стандартов термина КП и его определения сформулированного в соответствии с одной из существующих точек зрения.

Также определения понятия КП можно разделить на дескриптивные и конструктивные. За редким исключением авторы придерживаются только одного вида определения. При этом в методологии науки эти два вида определений считаются дополняющими друг друга.

В результате выполненного анализа автором предложены формулировки дескриптивного и конструктивного определений понятия КП, исключающего нарушение правил составления определений.

Литература

1. Старжинский, В. П. Методология науки и инновационная деятельность: пособие для аспирантов, магистрантов и соискателей ученой степени кандидата наук всех специальностей / В. П. Старжинский, В. В. Цепкало. – 3-е изд., испр. и доп. – Минск: БНТУ, 2010. – 288 с.

2. Новый политехнический словарь / Гл. ред. А. Ю. Ишлинский. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 671 с.

3. Губарев, А. В. Конструкция автомобилей: конспект лекций: в 3 ч. / А. В. Губарев, С. С. Никифоров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Ч.1. – 107 с.

4. Автомобили, основные агрегаты и механизмы. Термины и определения: ГОСТ 18667-73. – Введ. 01.07.74. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1974. – 15 с.

5. Крайнев, А. Ф. Словарь-справочник по механизмам / А. Ф. Крайнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 560 с.

6. Антонов, А. С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин. Теория и расчет / А. С. Антонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1975. – 480 с.

7. Харитонов, С. А. Автоматические коробки передач / С. А. Харитонов. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2003. – 335 с.

8. Антонов, А. С. Комплексные силовые передачи: Теория силового потока и расчет передающих систем / А. С. Антонов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981. – 496 с.

9. Круташов, А. В. Конструкция автомобилей: коробки передач: учебное пособие для вузов / А. В. Круташов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 117 с.

10. Колесные транспортные средства. Термины и определения: ГОСТ Р 59483-2021. – Введ. 13.05.21. М.: Федеральное агентство по

техническому регулированию и метрологии, 2021. – 119 с.

11. Губарев, А. В. Конструкция автомобилей: конспект лекций: в 3 ч. / А. В. Губарев, С. С. Никифоров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Ч. 2. – 115 с.

12. Дымшиц, И. И. Коробки передач / И. И. Дымшиц, под ред. А. А. Липгарта. – М.: МАШГИЗ, 1960. – 360 с.

13. Гаспарянц, Г. А. Конструкция, основы теории и расчета автомобиля: учебник для машиностроительных техникумов по специальности «Автомобилестроение» / Г. А. Гаспарянц. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.

14. Автоматические коробки передач легковых автомобилей: учеб. пособие / Р. А. Кремчеев, А. В. Прасолов, Н. С. Соломатин [и др.]; под ред. Н. С. Соломатина. – Тольятти: Издательство ТГУ, 2012. – 110 с.

15. Вахламов, В. К. Автомобили: Конструкция и элементы расчета: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с.

16. Гольд, Б. В. Теория, конструирование и расчет автомобиля / Б. В. Гольд, Б. С. Фалькевич. – М.: МАШГИЗ, 1957. – 536 с.

17. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.

18. Конструкция автомобилей. Трансмиссия: учебно-методическое пособие для студентов автотранспортных специальностей / О. С. Руктешель, Г. А. Дыко, Л. А. Моли-бошко, С. Г. Якутович. – Минск: БНТУ, 2008. – 116 с.

19. Кожевников, С. Н. Теория механизмов и машин / С. Н. Кожевников. – Киев: МАШГИЗ, 1949. – 448 с.

20. Оsepчугов, В. В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета: учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В. В. Оsepчугов, А. К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

21. Теория и конструкция автомобиля: Учебник для автотранспортных техникумов / В. А. Иларионов, М. М. Морин, Н. М. Сергеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.

22. Катюшин, Г. К. Конструкция, основы теории, расчет и испытание тракторов / Г. К. Катюшин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 511 с.

23. Бескаравайный, М. И. Устройство автомобиля просто и понятно для всех / М. И. Бескаравайный. – М.: Эксмо, 2008. – 64 с.

24. Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький, Л. Х. Гилелес [и др.]; под общ. ред. В. В. Осепчугова. – М. : Машиностроение, 1979. – 384 с.
25. Дьяков, И. Ф. Ступенчатые и планетарные коробки передач механических трансмиссий: Учебное пособие / И. Ф. Дьяков, В. А. Кузнецов, В. И. Тарханов. – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 120 с.
26. Высоцкий, М. С. Грузовые автомобили: Проектирование и основы конструирования / М. С. Высоцкий, Л. Х. Гилелес, С. Г. Херсонский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1995. – 256 с.
27. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Ленинград : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. – 704 с.
28. Мазалов, Н. Д. Гидромеханические коробки передач / Н. Д. Мазалов, С. М. Трусов. – М. : Машиностроение, 1971. – 296 с.
29. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия: учеб. пособие для спец. «Автомобили и тракторы» / А. И. Гришкевич, В. А. Вавуло, А. В. Карпов [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича. – Минск : Высш. шк., 1985. – 240 с.
30. Альгин, В. Б. Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин / В. Б. Альгин, С. Н. Поддубко. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 549 с.
31. Цитович, И. С. Надежность трансмиссий автомобилей и тракторов / И. С. Цитович, Б. Е. Митин, В. А. Дзюнь. – Минск : Наука и техника, 1985. – 143 с.
32. Цитович, И. С. Анализ и синтез планетарных коробок передач автомобилей и тракторов / И. С. Цитович. – Минск : Наука и техника, 1987. – 224 с.
33. Проектирование полноприводных колесных машин: учеб. для вузов: в 2 Т. / Б. А. Афанасьев, Н. Ф. Бочаров, Л. Ф. Жеглов, [и др.]; под общ. ред. А. А. Полунгяна. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – Т.1. – 488 с.
34. Цитович, И. С. Трансмиссии автомобилей / И. С. Цитович, И. В. Каноник, В. А. Вавуло. – Минск : Наука и техника, 1979. – 256 с.
35. Трансмиссии тракторов / К. Я. Львовский, Ф. А. Черпак, И. Н. Серебряков, Н. А. Щельцын. – М. : Машиностроение, 1976. – 280 с.
36. Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник/ Под общ. ред. А. И. Гришкевича. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
37. Кленников, В. М. Теория и конструкция автомобиля / В. М. Кленников, Е. В. Кленников. – М. : Машиностроение, 1967. – 312 с.
38. Трансмиссии тракторов (конструкция) / В. М. Шарипов, И. М. Эглит, А. П. Парфенов, Л. Н. Крумбольдт; под ред. В. М. Шарипова. – М. : МГТУ «МАМИ», 1999. – 245 с.
39. Горбунов, П. П. Гидромеханические трансмиссии тракторов / П. П. Горбунов, Ф. А. Черпак, К. Я. Львовский. – М. : Машиностроение, 1966. – 422 с.
40. Коробки передач автомобилей механические ступенчатые. Термины и определения : ОСТ37.001.285-84. – Введ. 01.07.85. – 2021. – 16 с.
41. Koenigsegg Regera: передача без коробки/ Дмитрий Лазо. – Журнал АКППро, 2019. – № 6. – URL: <https://akppro.ru/ru/magazine/article/koenigsegg.html> (дата обращения: 19.03.2024).
42. Альтшуллер, Г. С. Найти идею : введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер. – 4-е изд. – М. : Альпина Паблишерз, 2011. – 399 с.
43. Шпаковский, Н. А. ТРИЗ. Практика целевого изобретательства : учебное пособие / Н. А. Шпаковский, Е. Л. Новицкая. – М. : ФОРУМ, 2011. – 336 с.
44. Словарь-справочник по зубчатым передачам: русско-англо-немецко-французский. – издание третье, испр. и доп. / В. Е. Старжинский [и др.]; под общ. ред. В. Е. Старжинского. – Гомель-Минск : БелГИСС, 2005. – 100 с.
45. Применение коробок передач в силовых приводах электротранспорта / С. Н. Поддубко [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 3 (52). – С. 5–11.
46. Multi-speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles : Current Status and Future Trends / Fabricio A. Machado [et al.] // Open Journal of Vehicular Technology. – 2021. – Vol. 2. – P.419–435. – DOI 10.1109/OJVT. 2021.3124411.

BELABENKO Dmitry S., Ph. D. in Eng.,
Head of the Calculate and Scientific support of projects Department
E-mail: megainventor@yandex.ru

JSC «Minsk wheel tractor plant», Minsk, Republic of Belarus

Received 03 October 2024

ABOUT THE TERM “GEARBOX”

There are term “gearbox” has a different meaning in scientific and technical publications on the same topic. There is a number of rules used to make definitions in the methodology of science. In the case when the rule of unambiguity is violated, the distortion of the term “gearbox” is more significant. This fact is typical both for modern works of the last decade and for older works of the end of the last century. The different meaning of the term “gearbox” makes it difficult for students to study and for specialists to communicate. There are some problems was solved in the work. Different definitions of the term “gearbox” were studied and classified. The systematization of definitions according to two features has been carried out. The first feature is the types of transmissions. The second feature is the basis for making a definition. The main features of the concept “gearbox” were identified. Analysis of different definitions was carried out. The new definition of the term “gearbox” was proposed.

Keywords: gearbox, transmission, term, definition, concept, gear mechanism, gear.

References

1. Starzhinskiy, V. P. Metodologiya nauki i innovatsionnaya deyatel'nost': posobie dlya aspirantov, magistrantov i soiskateley uchenoy stepeni kandidata nauk vseh spetsial'nostey / V. P. Starzhinskiy, V. V. Tsepikalo. – Minsk: BNTU, 2010. – 3-e izd., ispr. i dop. – 288 p.
2. Novyy politekhnicheskii slovar' / Gl. red. A. Yu. Ishlinskiy. – M.: Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya, 2000. – 671 p.
3. Gubarev, A. V. Konstruktsiya avtomobiley: konspekt lektsiy: in 3 ch. / A. V. Gubarev, S. S. Nikiforov. – Chelyabinsk: Izdatel'skiy tsentr YuUrGU, 2010. – Ch.1. – 107 p.
4. Avtomobili, osnovnye agregaty i mekhanizmy. Terminy i opredeleniya: GOST 18667-73. – Vved. 01.07.74. M. : Gos. komitet SSSR po standartam, 1974. – 15 p.
5. Kraynev, A. F. Slovar'-spravochnik po mekhanizmam. – 2-e izd., pererab. i dop. / A. F. Kraynev. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 560 p.
6. Antonov, A. S. Silovye peredachi kolesnykh i gusenichnykh mashin. Teoriya i raschet / A. S. Antonov. – Izd. 2-e pererab. i dop. L. : Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1975. – 480 p.
7. Kharitonov, S. A. Avtomaticheskie korobki peredach / S. A. Kharitonov. – M. : OOO «Izdatel'stvo Astrel'» : OOO «Izdatel'stvo AST», 2003. – 335 p.
8. Antonov, A. S. Kompleksnye silovye peredachi: Teoriya silovogo potoka i raschet peredayushchikh system / A. S. Antonov. – L. : Mashinostroenie. Leningr. Otd-nie, 1981. – 496 p.
9. Krutashov, A. V. Konstruktsiya avtomobiley: korobki peredach: uchebnoe posobie dlya vuzov / A. V. Krutashov. – 2-e izd., ispr. i dop. – M. : Izdatel'stvo Yurayt, 2020. – 117 p.
10. Kolesnye transportnye sredstva. Terminy i opredeleniya : GOST R 59483-2021. – Vved. 13.05.21. M. : Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii, 2021. – 119 p.
11. Gubarev, A. V. Konstruktsiya avtomobiley: konspekt lektsiy: in 3 ch. / A. V. Gubarev, S. S. Nikiforov. – Chelyabinsk: Izdatel'skiy tsentr YuUrGU, 2010. – Ch. 2. – 115 p.
12. Dymshits, I. I. Korobki peredach / I. I. Dymshits, pod red. A. A. Lipgarta. – M. : MASHGIZ, 1960. – 360 p.
13. Gasparyants, G. A. Konstruktsiya, osnovy teorii i rascheta avtomobilya: Uchebnik dlya mashinostroitel'nykh tekhnikumov po spetsial'nosti «Avtomobilstroenie» / G. A. Gasparyants. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 351 p.
14. Avtomaticheskie korobki peredach legkovykh avtomobiley: ucheb. posobie / R. A. Kremcheev [et al.]; pod red. N. S. Solomatina. – Tol'yatti : Izdatel'stvo TGU, 2012. – 110 p.

15. Vakhlamov, V. K. Avtomobili : Konstruktsiya i elementy rascheta : uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy / V. K. Vakhlamov. – M. : Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2006. – 480 p.
16. Gol'd, B. V. Teoriya, konstruirovaniye i raschet avtomobilya / B. V. Gol'd, B. S. Fal'kevich. – M. : MASHGIZ, 1957. – 536 p.
17. Avtomobil'nyy spravochnik: Per. s angl. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : ZAO «KZHI «Za rulem», 2004. – 992 p.
18. Ruktshel', O. S. Konstruktsiya avtomobilye. Transmissiya: uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov avtotransportnykh spetsial'nostey / O. S. Ruktshel' [et al.]. – Minsk : BNTU, 2008. – 116 p.
19. Kozhevnikov, S. N. Teoriya mekhanizmov i mashin / S. N. Kozhevnikov. – Kiev : MASHGIZ, 1949. – 448 p.
20. Osepchugov, V. V. Avtomobil' : Analiz konstruktsiy, elementy rascheta : Uchebnik dlya studentov vuzov po spetsial'nosti «Avtomobili i avtomobil'noe khozyaystvo» / V. V. Osepchugov, A. K. Frumkin. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 304 p.
21. Teoriya i konstruktsiya avtomobilya: Uchebnik dlya avtotransportnykh tekhnikumov / V. A. Ilarionov [et al.]. – M. : Mashinostroenie, 1979. – 303 p.
22. Katyushin, G. K. Konstruktsiya, osnovy teorii, raschet i ispytanie traktorov / G. K. Katyushin. – M. : Agropromizdat, 1990. – 511 p.
23. Beskaravaynyy, M. I. Ustroystvo avtomobilya prosto i ponyatno dlya vseh / M. I. Beskaravaynyy. – M. : Eksmo, 2008. – 64 p.
24. Gruzovye avtomobili / M. S. Vysotskiy [et al.]; pod obshch. red. V. V. Osepchugova. – M. : Mashinostroenie, 1979. – 384 p.
25. D'yakov, I. F. Stupenchatye i planetarnye korobki peredach mekhanicheskikh transmissiy: Uchebnoe posobie / I. F. D'yakov, V. A. Kuznetsov, V. I. Tarkhanov. – Ul'yanovsk : UIGTU, 2003. – 120 p.
26. Vysotskiy, M. S. Gruzovye avtomobili: Proektirovaniye i osnovy konstruirovaniya / M. S. Vysotskiy, L. Kh. Gileles, S. G. Khersonskiy. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1995. – 256 p.
27. Artobolevskiy, I. I. Teoriya mekhanizmov i mashin / I. I. Artobolevskiy. – 2-e izd., pererab. i dop. – M., Leningrad : Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1951. – 704 p.
28. Mazalov, N. D. Gidromekhanicheskie korobki peredach / N. D. Mazalov, S. M. Trusov. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 296 p.
29. Avtomobili: Konstruktsiya, konstruirovaniye i raschet. Transmissiya: Ucheb. posobie dlya spets. «Avtomobili i traktory» / A. I. Grishkevich [et al.]; pod red. A. I. Grishkevicha. – Minsk : Vyssh. shk., 1985. – 240 p.
30. Al'gin, V. B. Resursnaya mekhanika transmissiy mobil'nykh mashin / V. B. Al'gin, S. N. Poddubko. – Minsk : Belaruskaya navuka, 2019. – 549 p.
31. Tsitovich, I. S. Nadezhnost' transmissiy avtomobiley i traktorov / I. S. Tsitovich, B. E. Mitin, V. A. Dzyun'. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1985. – 143 p.
32. Tsitovich, I. S. Analiz i sintez planetarnykh korobok peredach avtomobiley i traktorov / I. S. Tsitovich. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1987. – 224 p.
33. Proektirovaniye polnoprivodnykh kolesnykh mashin: in 2 vol. Ucheb. dlya vuzov / B. A. Afanas'ev [et al.]; pod obshch. red. A. A. Polungyana. – M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 1999. – Vol.1. – 488 p.
34. Tsitovich, I. S. Transmissii avtomobiley / I. S. Tsitovich, I. V. Kanonik, V. A. Vavulo. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1979. – 256 p.
35. Transmissii traktorov / K. Y. L'vovskiy [et al.]. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 280 p.
36. Proektirovaniye transmissiy avtomobiley: Spravochnik/ Pod obshch. red. A. I. Grishkevich. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 272 p.
37. Klennikov, V. M. Teoriya i konstruktsiya avtomobilya / V. M. Klennikov, E. V. Klennikov. – M. : Mashinostroenie, 1967. – 312 p.
38. Transmissii traktorov (konstruktsiya) / V. M. Sharipov [et al.]; pod red. V. M. Sharipova. – M. : MGTU «MAMI», 1999. – 245 p.
39. Gorbunov, P. P. Gidromekhanicheskie transmissii traktorov / P. P. Gorbunov, F. A. Cherpak, K. Ya. L'vovskiy. – M. : Mashinostroenie, 1966. – 422 p.
40. Korobki peredach avtomobiley mekhanicheskie stupenchatye. Terminy i opredeleniya : OST37.001.285-84. – Vved. 01.07.85. – 2021. – 16 p.
41. Koenigsegg Regera: peredacha bez korobki / Dmitriy Lazo. – Zhurnal AKPPRO, 2019. – № 6. – Mode of access: <https://akppro.ru/ru/magazine/article/koenigsegg.html> (date of access: 19.03.2024).
42. Al'tshuller, G. S. Nayti ideyu : vvedenie v TRIZ – teoriyu resheniya izobretatel'skikh zadach / G. S. Al'tshuller. – 4-e izd. – M. : Al'pina Publish-erz, 2011. – 399 p.
43. Shpakovskiy, N. A. TRIZ. Praktika tselevogo izobretatel'stva : uchebnoe posobie / N. A. Shpakovskiy, E. L. Novitskaya. – M. : FORUM, 2011. – 336 p.
44. Slovar'-spravochnik po zubchatym peredacham: russko-anglo-nemetsko-frantsuzskiy. – iz-

danie tret'e, ispr. i dop. / V. E. Starzhinskiy [et al.]; pod obshch. red. V. E. Starzhinskogo. – Gomel'-Minsk : BelGISS, 2005. – 100 s.

45. Primenenie korobok peredach v silovykh privodakh elektrotransporta / S. N. Poddubko [et al.] // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. – 2020. – № 3 (52). – P. 5–11.

46. Multi-speed Gearboxes for Battery Electric Vehicles : Current Status and Future Trends / Fabricio A. Machado [et al.] // Open Journal of Vehicular Technology. – 2021. – Vol. 2. – P.419–435. – DOI 10.1109/OJVT. 2021.3124411.

УДК 631.372

ПЛИЩ В. Н.,
ст. преп. каф. «Тракторы»
E-mail: vplishch@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 17.09.2024

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НА ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРАХ ХОДОВЫХ СИСТЕМ С ДВУМЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩИМИ КАТКАМИ

Повышение эффективности гусеничных тракторов в сельском хозяйстве можно обеспечить за счет рационального выбора параметров ходовой системы. Одним из таких параметров является количество поддерживающих катков. Минимальное число позволяет снизить затраты мощности на их вращение и металлоемкость трактора. При выборе количества поддерживающих катков учитываются такие показатели как упругая характеристика системы поддрессирования трактора, жесткость резиноармированной гусеницы при растяжении, растягивающие усилия в свободной и рабочей ветвях движителя трактора, предварительное статическое натяжение резиноармированной гусеницы и расположение поддерживающих катков. Предложена расчетная методика по определению экономической эффективности при использовании на сельскохозяйственных тракторах с резиноармированными гусеницами различного количества поддерживающих катков. Она позволяет учитывать конструктивные особенности поддерживающих катков, их число, а также производственные затраты на изготовление деталей катка и стоимость покупных комплектующих. Для деталей, получаемых с помощью механической обработки, учитываются такие показатели как марка материала детали, способ получения заготовки и масса сдаваемой стружки при механической обработке детали. С использованием приведенной методики проведена оценка экономического эффекта при возможном применении в конструкции ходовой системы сельскохозяйственного трактора двух поддерживающих катков. В ценах марта 2024 г. его величина составила 1476,12 руб.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, ходовая система, поддерживающий каток, экономический эффект, технологическая себестоимость, заготовка, покупное изделие.

Введение

В настоящее время в ходовых системах сельскохозяйственных тракторов в большинстве случаев применяется четыре поддерживающих катка [1; 2; 3, с. 139–140; 4, с. 16]. При выборе параметров верхней ветви используются рекомендации для движителя сельскохозяйственного трактора с металлической гусеницей [5, с. 338–339]. Однако с ростом скоростей

движения сельскохозяйственных тракторов с резиноармированными гусеницами до 30 км/ч существующие подходы потребовали пересмотра. Для этого случая была разработана методика по выбору количества поддерживающих катков, их расположения и предложена конструкция ходовой системы сельскохозяйственного трактора с двумя поддерживающими катками [6–8].

Цель работы – оценка экономической эффективности применения на гусеничных сельскохозяйственных тракторах ходовых систем с двумя поддерживающими катками.

Основная часть

Для определения экономического эффекта предлагаемого (нового) варианта конструкции ходовой системы гусеничного трактора с двумя поддерживающими катками в качестве базового варианта примем гусеничный сельскохозяйственный трактор «Беларус» 2103 производства промышленного объединения «МТЗ-ХОЛДИНГ». На тракторе в настоящее время применяется четыре поддерживающих катка. По сравнению с базовым вариантом в предлагаемую (новую) конструкцию гусеничного сельскохозяйственного трактора внесены следующие изменения:

– уменьшено количество поддерживающих катков на 2 единицы;

– уменьшено количество кронштейнов поддерживающих катков на 2 единицы.

Эти изменения конструкции позволили снизить металлоемкость (массу) гусеничного сельскохозяйственного трактора, затраты мощности в гусеничном двигателе на вращение поддерживающих катков и отпускную цену на изделие.

В общем случае экономический эффект Э (руб.) от реализации любого мероприятия, обеспечивающего снижение себестоимости, определяется разностью приведенных затрат без учета разницы в капитальных вложениях [9, с. 84–85; 10, с. 160]:

$$\mathcal{E} = C_6 - C_n, \quad (1)$$

где C_6 – себестоимость базового варианта конструкции гусеничного сельскохозяйственного трактора, руб.;

C_n – себестоимость предлагаемого (нового) варианта конструкции гусеничного сельскохозяйственного трактора, руб.

При использовании в ходовой системе гусеничного сельскохозяйственного трактора двух поддерживающих катков вместо четырех экономический эффект будет заключаться в снижении затрат на технологическую себестоимость изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном и приобретение покупных изделий для его комплектования. Тогда в расчете на единицу продукции (трактор) выражение (1) можно представить в виде:

$$\mathcal{E} = \Delta n_{\text{пк}} \cdot C_{\text{пк}}, \quad (2)$$

где $\Delta n_{\text{пк}}$ – снижаемое количество поддерживающих катков в ходовой системе трактора;

$C_{\text{пк}}$ – себестоимость изготовления одного поддерживающего катка с кронштейном, руб.

Себестоимость изготовления одного поддерживающего катка с кронштейном определим следующим образом:

$$C_{\text{пк}} = C_{\text{т}} + Ц_{\text{п}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{т}}$ – технологическая себестоимость изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном, руб.;

$Ц_{\text{п}}$ – цена покупных изделий поддерживающего катка гусеничного трактора, руб.

Для определения технологической себестоимости изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном состав затрат в общем виде представим зависимостью [11, с. 72]:

$$C_{\text{т}} = C_{\text{заг}} + C_{\text{обр}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{заг}}$ – суммарная себестоимость заготовок поддерживающего катка с кронштейном, руб.;

$C_{\text{обр}}$ – суммарная себестоимость операций механической обработки деталей поддерживающего катка с кронштейном, руб.

Суммарную себестоимость заготовок поддерживающего катка с кронштейном определим как сумму себестоимостей заготовок деталей с использованием выражения:

$$C_{\text{заг}} = \sum_{v=1}^{n_{\text{заг}}} C_{\text{заг}v}, \quad (5)$$

где v – номер заготовки детали поддерживающего катка с кронштейном;

$n_{\text{заг}}$ – количество заготовок деталей поддерживающего катка с кронштейном;

$C_{\text{заг}v}$ – себестоимость v – й заготовки детали поддерживающего катка с кронштейном гусеничного трактора, руб.

При выборе заготовок для изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном предпочтение будем отдавать заготовкам, которые обеспечивают меньшую технологическую себестоимость деталей [11, с. 39]. Для изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном, подлежащих механической обработке, на гусеничном тракторе будем использовать заготовки из проката, а также полученные методом литья в обычные земляные формы (крышка, рис. 1) и необлицованный кокиль (кронштейн, рис. 1).

В свою очередь себестоимость v -й заготовки детали поддерживающего катка с кронштейном определяется в зависимости от способа ее получения и с использованием соответствующих зависимостей.

1. Для заготовок поддерживающего катка из проката.

Стоимость v -й заготовки поддерживающего катка из проката [11, с. 40]:

$$C_{\text{заг}v} = M_v + \sum C_{\text{з.ов}}, \quad (6)$$

где M_v – расходы на материал v -й заготовки детали поддерживающего катка, руб.;

$C_{\text{з.ов}}$ – технологическая себестоимость заготовительных операций v -й детали поддерживающего катка, руб.

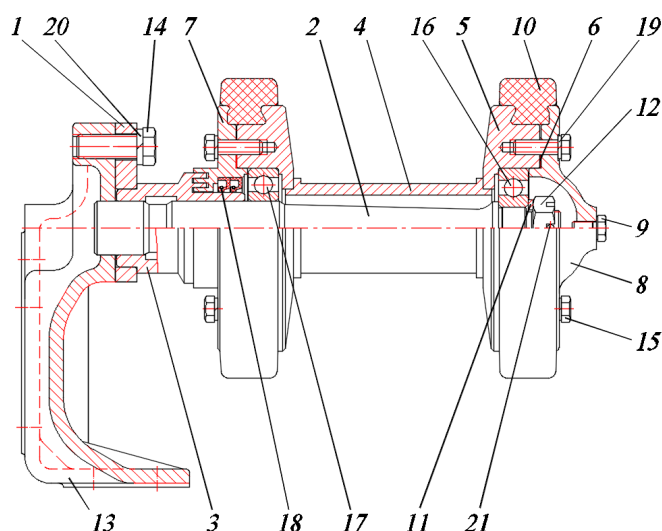


Рисунок 1 – Конструктивная схема поддерживающего катка с кронштейном:

- 1 – фланец; 2 – ось; 3 – втулка лабиринтная; 4 – втулка; 5 – корпус; 6 – прокладка;
- 7 – крышка лабиринтная; 8 – крышка; 9 – пробка; 10 – бандаж; 11 – шайба; 12 – гайка;
- 13 – кронштейн; 14 – болт; 15 – болт М12-6gx40.88.35.019 ГОСТ 7796-70;
- 16 – подшипник 407 ГОСТ 8338-75; 17 – подшипник 309 К ГОСТ 8338-75;
- 18 – манжета 1.2-60x85-1 ГОСТ 8752-79; 19 – шайба 12 ОТ ОСТ 37.001.115-75;
- 20 – шайба 20 ОТ ОСТ 37.001.115-75; 21 – шплинт 6.3x63.019 ГОСТ 397-79

Для заготовки v -й детали, получаемой из проката, поддерживающего катка расходы на материал составят [11, с. 40]:

$$M_v = Q_v \cdot S_v - (Q_v - q_v) \cdot S_{\text{отх}v}, \quad (7)$$

где Q_v – масса заготовки для v -й детали поддерживающего катка с кронштейном, кг;

S_v – стоимость 1 кг материала для v -й заготовки детали поддерживающего катка из проката, руб.;

q_v – масса готовой v -й детали поддерживающего катка с кронштейном, кг;

$S_{\text{отх}v}$ – стоимость для v -й детали поддерживающего катка 1 кг отходов, руб.

2. Для заготовок, полученных методом литья в необлицованный кокиль и обычные земляные формы.

Стоимость v -й заготовки при получении методом литья в необлицованный кокиль и обыч-

ные земляные формы определим с использованием зависимости [11, с. 42]:

$$C_{\text{заг}v} = S_{\text{бв}} \cdot Q_v \cdot k_t \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_{\text{п}} - (Q_v - q_v) \cdot S_{\text{отх}v}, \quad (8)$$

где $S_{\text{бв}}$ – базовая стоимость для v -й детали 1 кг заготовок, руб.;

k_t – коэффициент для v -й детали выбираемый с учетом класса точности заготовки;

k_c – коэффициент для v -й детали выбираемый с учетом группы сложности заготовки;

k_b – коэффициент для v -й детали выбираемый с учетом массы заготовки;

k_m – коэффициент для v -й детали выбираемый с учетом марки материала заготовки;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент для v -й детали выбираемый с учетом объема производства заготовки.

Суммарную себестоимость операций механической обработки деталей поддерживающего катка с кронштейном определим с использованием выражения:

$$C_{\text{обр}} = \sum_{w=1}^{n_{\text{обр}}} C_{\text{обр}w}, \quad (9)$$

где w – номер детали поддерживающего катка с кронштейном подлежащей механической обработке;

$n_{\text{обр}}$ – количество деталей поддерживающего катка с кронштейном подлежащих механической обработке;

$C_{\text{обр}w}$ – технологическая себестоимость операций механической обработки w -й детали поддерживающего катка с кронштейном гусеничного трактора, руб.

Технологическая себестоимость операций механической обработки w -й детали поддерживающего катка с кронштейном гусеничного трактора включает следующие затраты [11, с. 73]:

$$C_{\text{обр}w} = C_{\text{зп}w} + C_{\text{отч}w} + C_{\text{инт}w} + C_{\text{РСЭО}w}, \quad (10)$$

где $C_{\text{зп}w}$ – основная и дополнительная заработная плата при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном рабочих занятых при изготовлении деталей, руб.;

$C_{\text{отч}w}$ – отчисления от расходов на оплату труда при механической обработке w -й детали производственных рабочих в бюджет и внебюджетные фонды, руб.;

$C_{\text{инт}w}$ – расходы на инструмент и приспособления при механической обработке w -й детали, руб.;

$C_{\text{РСЭО}w}$ – расходы по содержанию и эксплуатации машин и оборудования при механической обработке w -й детали, руб.

Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих, непосредственно участвующих в изготовлении продукции при механической обработке w -й детали, определяется по нормам времени на каждую операцию по формуле [11, с. 73]:

$$C_{\text{зп}w} = \left(\sum_{i=1}^{n_{\text{к.ов}}} T_{\text{шт}w,i} \frac{\text{ЧОТ}_{w,i}}{60} \right) k_{\text{пр}w} k_{\text{д}w} k_{\text{м}w}, \quad (11)$$

где i – номер операции при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном;

$n_{\text{к.ов}}$ – количество операций механической обработки w -й детали поддерживающего катка с кронштейном;

$T_{\text{шт}w,i}$ – штучное время выполнения i -й операции при механической обработке w -й детали, мин;

$\text{ЧОТ}_{w,i}$ – величина часовой оплаты труда разряда работы, используемого для тарификации на i -й операции при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном, руб.;

$k_{\text{пр}w}$ – коэффициент, который учитывает доплаты и выплаты при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном;

$k_{\text{д}w}$ – коэффициент, который учитывает при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном дополнительную заработную плату;

$k_{\text{м}w}$ – коэффициент, который учитывает при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном многостаночное обслуживание при наличии в массовом производстве на операции станков-дублеров.

Цену покупных изделий поддерживающего катка гусеничного трактора определим как сумму минимальных отпускных цен на изделия специализированными организациями, осуществляющими их розничную реализацию:

$$C_{\text{п}} = \sum_{j=1}^{n_{\text{пи}}} C_{\text{п}j}, \quad (12)$$

где j – номер покупного изделия поддерживающего катка;

$n_{\text{пи}}$ – количество покупных изделий поддерживающего катка;

$C_{\text{п}j}$ – цена j -го покупного изделия поддерживающего катка гусеничного трактора, руб.

Проведем расчет себестоимости изготовления одного поддерживающего катка с кронштейном гусеничного сельскохозяйственного трактора. Его конструктивная схема приведена на рис. 1. Поддерживающий каток с кронштейном состоит из четырнадцати изготавливаемых деталей (рис. 1, поз. 1–14) и семи покупных изделий (рис. 1, поз. 15–21).

В качестве критерия выбора и принятия решений будем использовать минимум технологической себестоимости [11, с. 72]. Расчет экономической эффективности проведем в ценах марта 2024 г.

Для изготовления деталей поз. 1–5, 7, 9, 11, 12, 14 (рис. 1) оптимальными являются заготовки из проката, для деталей поз. 8 и 13 – за-

готовки, полученные методом литья, для банджа поз. 10 – резиновая смесь, для прокладки поз. 6 – паронит листовой. Стоимость стального проката и цена отходов определялись в соответствии с [11, с. 40–41, табл. 3.7], стоимость стружки черных металлов – по [11, с. 41, табл. 3.8]. При расчетах стоимость одного доллара США по данным Национального банка Республики Беларусь по состоянию на март 2024 г. принималась равной 3,23 руб.

Для детали поз. 8 использовалась заготовка в виде отливки, полученной литьем в обычную земляную форму, и, соответственно, базовая стоимость 1 кг отливки и значения коэффициентов, входящих в формулу (8), принимались в соответствии с [11, с. 42]. Для детали поз. 13 использовалась заготовка в виде отливки, полученной литьем в кокиль необлицованный, и, соответственно, базовая стоимость 1 кг отливки и значения коэффициентов, входящих в формулу (8), принимались в соответствии с [11, с. 45–46]. В качестве заготовки для прокладки поз. 6 принимался паронит листовой толщиной 1 мм и имеющий геометрическую форму квадрата. Высота стороны квадрата заготовки выбиралась равной наружному диаметру прокладки. В качестве материала для изготовления банджа использовалась резиновая смесь равная по массе готовому изделию.

Технологическая себестоимость операций механической обработки деталей поддерживающего катка с кронштейном поз. 1–9, 11–14 (рис. 1) определялась с использованием зависимостей (10) и (11), банджа поз. 10 по минимальной стоимости вулканизации смеси при изготовлении банджей катков. Полная себестоимость операций механической обработки деталей поддерживающего катка с кронштейном определялась с использованием выражения (9).

Заработная плата производственных рабочих принималась равной оплате труда работников бюджетных организаций. В марте месяце 2024 г. она составила 6 руб. за один час работы. Для предприятий машиностроения используется отраслевой коэффициент 1,2 [11, с. 201].

В результате часовая оплата труда (ЧОТ) производственных рабочих организаций машиностроения в указанный период составила 7,2 руб. Отчисления от средств на оплату труда в бюджет и внебюджетные фонды определялись в соответствии с законодательством Республики Беларусь в данный период. В связи с расчетом по минимуму технологической себестоимости расходы на инструмент, приспособления, содержание и эксплуатацию машин и оборудования при механической обработке не учитывались. При расчетах принималось единичное производство. Штучное время выполнения i -й операции при механической обработке w -й детали поддерживающего катка с кронштейном определялось с использованием зависимостей для нахождения основного времени обработки поверхностей [11, с. 200–201] с учетом типа производства [11, с. 201]. Коэффициенты для учета дополнительной заработной платы, доплаты и выплаты, многостаночного обслуживания в массовом производстве в случае наличия на операции станков-дублеров при механической обработке деталей поддерживающего катка с кронштейном принимались равными единице. Результаты расчета технологической себестоимости изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном гусеничного трактора приведены в табл. 1.

В итоге с использованием зависимостей (4)–(11) технологическая себестоимость изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном гусеничного трактора составила: $C_T = 675,2$ руб.

Цена покупных деталей поддерживающего катка гусеничного трактора определялась с использованием выражения (12) и, соответственно, результаты ее определения приведены в табл. 2. В результате расчетов цена покупных изделий поддерживающего катка составила: $C_{\Pi} = 62,86$ руб.

Себестоимость изготовления одного поддерживающего катка с кронштейном $C_{\text{пк}}$ определим с использованием выражения (3). В результате вычислений получим:

$$C_{\text{пк}} = 675,2 + 62,86 = 738,06 \text{ руб.}$$

Таблица 1 – Результаты расчета технологической себестоимости изготовления деталей поддерживающего катка с кронштейном

№ п.п.	Наименование детали, (материал детали)	Себестоимость			Количество деталей в сборке, шт.	Себестоимость деталей в сборке, руб.
		заготовки, $C_{\text{загв}}$, руб	операций механической обработки, $C_{\text{обрм}}$, руб	детали, $C_{\text{загв}} + C_{\text{обрм}}$, руб		
1	Фланец (Сталь 35 ГОСТ 1050-88)	14,19	1,6	15,79	1	15,79
2	Ось (Сталь 40Х ГОСТ 4543-71)	21,5	4,84	26,34	1	26,34
3	Втулка лабиринтная (Сталь 35 ГОСТ 1050-88)	24,06	3,7	27,76	1	27,76
4	Втулка (Сталь 35 ГОСТ 1050-88)	16,78	2,06	18,84	1	18,84

Окончание таблицы 1

5	Корпус (Сталь 35 ГОСТ 1050-88)	43,75	4,77	48,52	2	97,04
6	Прокладка (Паронит ПОН-1,0 ГОСТ 481-80)	0,6	0,25	0,85	2	1,7
7	Крышка лабиринтная (Сталь 40Х ГОСТ 4543-71)	49,11	6,6	55,71	1	55,71
8	Крышка (СЧ15 ГОСТ 1412-85)	12,53	0,84	13,37	1	13,37
9	Пробка (Сталь 45 ГОСТ 1050-88)	1,72	0,43	2,15	1	2,15
10	Бандаж (Резина Б-60-137 ГОСТ 2631-79) (стоимость 1 кг смеси составляет 81,59 руб. по данным ООО «Авиапромсталь», г. Минск, пр. Партизанский, 178)	99,54 (масса бандажа составляет 1,22 кг)	30 (минимальная стоимость вулканизации данного типа резины)	129,54	2	259,08
11	Шайба (Сталь 20 ГОСТ 1050-88)	0,81	0,33	1,14	1	1,14
12	Гайка (Сталь 45 ГОСТ 1050-88)	1,51	0,47	1,98	1	1,98
13	Кронштейн (Сталь 45Л ГОСТ 977-88)	132	1,15	133,15	1	133,15
14	Болт (Сталь 45 ГОСТ 1050-88)	1,12	0,29	1,41	15	21,15
Итого:						675,2

Таблица 2 – Результаты расчета цены покупных деталей поддерживающего катка

№ п.п.	Наименование детали	Отпускная цена детали за 1 единицу, руб	Источник отпускной цены	Количество деталей в сборке, шт.	Стоимость деталей в сборке, руб.
1	Болт М12-6gx40.88.35.019 ГОСТ 7796-70	1,12	Строительный магазин ООО «ОМА», г. Минск, ул. Наполеона Орды, 6	8	8,96
2	Подшипник 407 ГОСТ 8338-75	22,78	Магазин промышленных комплектующих и запчастей «Промкомплект», г. Минск, 3-й пер. Монтажников, 3	1	22,78
3	Подшипник 309 К ГОСТ 8338-75	17,87	Фирменный магазин ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск, ул. Олега Кошевого, 2	1	17,87
4	Манжета 1.2-60x85-1 ГОСТ 8752-79	3,19		2	6,38
5	Шайба 12 ОТ ОСТ 37.001.115-75	0,18		8	1,44
6	Шайба 20 ОТ ОСТ 37.001.115-75	0,35		15	5,25
7	Шплинт 6.3x63.019 ГОСТ 397-79	0,18		1	0,18
Итого:					62,86

Тогда экономический эффект при снижении количества поддерживающих катков на 2 единицы ($\Delta n_{\text{пк}} = 2$) в расчете на один гусеничный трактор с использованием зависимости (2) примет следующее значение:

$$\Xi = 2 \cdot 738,06 = 1476,12 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономический эффект от внедрения предлагаемого конструктивного решения (уменьшение количества поддерживающих катков в ходовой системе на 2 единицы) в расчете на один гусеничный трактор в ценах марта 2024 г. составил 1476,12 руб.

Заключение

Предложена методика по определению экономической эффективности применения на гу-

сеничных тракторах ходовых систем с различным количеством поддерживающих катков.

Проведена оценка экономического эффекта от уменьшения количества поддерживающих катков в ходовой системе сельскохозяйственного трактора на 2 единицы. Его величина в ценах марта 2024 г. составила 1476,12 руб.

Литература

1. Коробкин, В. А. Первый отечественный гусеничный трактор «Беларус» / В. А. Коробкин, В. К. Папка // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 10–12.

2. Гайнуллин, И. А. Эксплуатационные показатели агрегата на базе трактора с резиноармированными гусеницами / И. А. Гайнуллин // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всерос. науч.-практ. конф., Благовещенск, 20–21 апр.

2023 г. : в 3 т. / Дальневосточный гос. аграр. ун-т; ред. : П. В. Тихончук [и др.]. – Благовещенск, 2023. – Т. 2. – С. 44–49.

3. Трактор ДТ-175С / В. П. Шевчук [и др.]; под общ. ред. Я. Ф. Ракина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 335 с.

4. Трактор Т-150: 150.00.000 ТО. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Харьк. тракт. з-д им. С. Орджоникидзе. – 6-е изд. – Харьков: Прапор, 1988. – 296 с.

5. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов: справ. пособие / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко; под ред. проф. Б. П. Кашубы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.

6. Жданович, Ч. И. Определение усилий в ветвях обвода трактора с резиноармированной гусеницей и упругой подвеской / Ч. И. Жданович, В. Н. Плищ // Агропанорама. – 2021. – № 6 (148). – С. 2–7.

7. Жданович, Ч. И. Выбор предварительного натяжения резиноармированной гусеницы сельскохозяйственного трактора с упругой подвеской / Ч. И. Жданович, В. Н. Плищ // Вес.

Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 243–256.

8. Жданович, Ч. И. Выбор количества и расположения поддерживающих катков гусеничного трактора на основании анализа колебаний верхней ветви резиноармированной гусеницы / Ч. И. Жданович, В. Н. Плищ // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 121–136.

9. Жолобов, А. А. Экономика и организация машиностроительного производства. Дипломное проектирование: учеб. пособие / А. А. Жолобов, А. Г. Барановский, В. Т. Высоцкий; под ред. А. А. Жолобова. – Минск: РИВШ, 2021. – 320 с.

10. Вихренко, Д. В. Совершенствование методов проектирования несущих узлов шасси грузового автомобиля для повышения их прочностных характеристик: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Д. В. Вихренко. – Минск, 2008. – 162 с.

11. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. М. Кане [и др.]; под ред. М. М. Кане, В. К. Шелега. – Минск: Выш. шк., 2013. – 311 с.

UDC 631.372

PLISHCH Vladimir N.,
Senior lecturer at the department «Tractors»
E-mail: vplishch@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 17 September 2024

ECONOMIC EFFICIENCY OF USING RUNNING SYSTEMS WITH TWO SUPPORTING ROLLERS ON TRACKED TRACTORS

Improving the efficiency of tracked tractors in agriculture can be achieved through a rational choice of the parameters of the running system. One of these parameters is the number of support rollers. The minimum number allows you to reduce the cost of power for their rotation and the metal consumption of the tractor. When choosing the number of supporting rollers, such indicators as the elastic characteristic of the tractor springing system, the stiffness of the rubber-reinforced track under tension, tensile forces in the free and working branches of the tractor propulsion, the preliminary static tension of the rubber-reinforced track and the location of the supporting rollers are taken into account. A calculation method is proposed to determine the economic efficiency when used on agricultural tractors with rubber-reinforced tracks of various numbers of support rollers. It allows you to take into account the design features of the supporting rollers, their number, as well as the production costs of manufacturing roller parts and the cost of purchased components. For parts obtained by mechanical processing, such indicators as the material grade of the part, the method of obtaining the workpiece and the mass of the chips being delivered during machining of the part are taken into ac-

count. Using the above methodology, an assessment of the economic effect was carried out with the possible use of two supporting rollers in the design of the running system of an agricultural tractor. In the prices of March 2024 its value was 1476.12 rubles.

Keywords: *agricultural tractor, running system, supporting roller, economic effect, technological cost, billet, purchased product.*

References

1. Korobkin, V. A. The first domestic tracked tractor «Belarus» / V. A. Korobkin, V. K. Papka // *Belarusian agriculture*. – 2006. – No. 8. – pp. 10–12.
2. Gainullin, I. A. Performance indicators of the unit based on a tractor with rubber-reinforced tracks / I. A. Gainullin // *Agro-industrial complex : problems and prospects of development : materials of the All-Russian scientific and practical conference, Blagoveshchensk, April 20-21, 2023 : in 3 volumes / Far Eastern State Agrarian University. Univ. ; ed. : P. V. Tikhonchuk [et al.]*. – Blagoveshchensk, 2023. – Vol. 2. – pp. 44–49.
3. Tractor DT-175S / V. P. Shevchuk [et al.]; under the general editorship of Ya. F. Rakin. – M. : Agropromizdat, 1988. – 335 p.
4. Tractor T-150: 150.00.000 TO. Technical description and operating instructions / Kharkiv. tract. z-d named after S. Ordzhonikidze. – 6th ed. – Kharkov: Prapor, 1988. – 296 p.
5. Anilovich, V. Ya. Design and calculation of agricultural tractors : reference. manual / V. Ya. Anilovich, Yu. T. Vodolazhchenko ; edited by prof. B. P. Kashuba. – 2nd ed., reprint. and additional. – M. : Mechanical Engineering, 1976. – 456 p.
6. Zhdanovich, Ch. I. Determination of forces in the branches of a tractor bypass with a rubber-reinforced caterpillar and elastic suspension / Ch. I. Zhdanovich, V. N. Plishch // *Agropanorama*. – 2021. – № 6 (148). – S. 2–7.
7. Zhdanovich, Ch. I. The choice of pre-tension of a rubber-reinforced caterpillar of an agricultural tractor with an elastic suspension / Ch. I. Zhdanovich, V. N. Plishch // *Weight. National acad. navuk Belarussi. Ser. agrar. navuk*. – 2022. – vol. 60, No. 2. – pp. 243–256.
8. Zhdanovich, Ch. I. The choice of the number and location of the supporting rollers of a tracked tractor based on the analysis of vibrations of the upper branch of a rubber-reinforced caterpillar / Ch. I. Zhdanovich, V. N. Plishch // *Weight. National. acad. navuk Belarussi. Ser. fiz.-tehn. navuk*. – 2023. – Vol. 68, No. 2. – pp. 121–136.
9. Zholobov, A. A. Economics and organization of machine-building production. Diploma design : studies. handbook / A. A. Zholobov, A. G. Baranovsky, V. T. Vysotsky; edited by A. A. Zholobov. – Minsk : Rivsh, 2021. – 320 p.
10. Vikhrenko, D. V. Improvement of design methods for load-bearing components of a truck chassis to increase their strength characteristics : dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / D. V. Vikhrenko. – Minsk, 2008. – 162 p.
11. Mechanical engineering technology. Course design : studies. manual / M. M. Kane [et al.]; edited by M. M. Kane, V. K. Shelega. – Minsk : Vysh. shk., 2013. – 311 p.

ХАРИТОНЧИК С. В., д-р техн. наук, профессор,
ректор
E-mail: skharytonchyk@bntu.by

ЕРМИЛОВ С. В.,
ст. преп. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»
E-mail: gpa_atf@bntu.by

ЖИЛЕВИЧ М. И., канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20.09.2024

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЯТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ОСОБО БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Оптимальное управление тормозной системой позволяет повысить безопасность движения автомобиля. Создание и развитие антиблокировочных систем (АБС), ставших основой, для всех остальных системы контроля сцепления с дорогой, стало важным этапом в повышении активной безопасности автомобилей. В современных АБС, несмотря на разнообразие в конструкции и логике работы системы, решающей задачи предотвращения блокировки колес и реализации оптимальных сцепных свойств колеса с дорогой во время движения автомобиля, могут быть выделены некоторые общие признаки, позволяющие создать классификацию таких систем. В соответствии с правилами ЕЭК ООН №13 установка АБС на автомобилях особо большой грузоподъемности (например, карьерных самосвалах) не является обязательной, однако некоторые мировые производители ведут работы по установке таких систем на карьерные самосвалы в виде дополнительной опции. Большие габаритные размеры тормозных механизмов, требующие существенный расход рабочей жидкости, позволяющий обеспечить требуемое быстродействие тормозного привода, являются одной из основных проблем реализации антиблокировочных систем на карьерных самосвалах. В ходе решения данной проблемы было разработано схемное решение гидравлического модулятора АБС, подтвержденное патентом на изобретение. Были выполнены расчетные исследования, позволившие определить габаритные размеры золотников его исполнительных элементов и жесткости возвратной пружины с целью обеспечения минимального быстродействия и перерегулирования при движении золотника на этапе первого экстренного быстродействия, когда значение расхода является максимальным.

Ключевые слова: антиблокировочная система, модулятор, тормозной гидропривод, расчетная схема, автомобиль особо большой грузоподъемности, жесткость возвратной пружины.

Введение

Увеличение использования дорожного транспорта при перевозках с одновременным повышением активной безопасности автомобилей возможно при существенном улучшении их тормозных свойств. Обязательное требование, предъявляемое к современным автомобилям – обеспечение минимального тормозного пути с сохранением устойчивого и управляемого движения при процессе торможения. Этому

способствует АБС, осуществляющая регулирование скорости вращения колес транспортного средства путем изменения давления в магистралях тормозной системы и являющаяся родоначальницей, всех остальных системы контроля сцепления с дорогой.

В настоящее время АБС – это электронная система с микропроцессорным управлением, обладающая сложной логикой и конструкцией, способная не только контролировать поведение

колес, но и адаптироваться к изменению реальных условий торможения с минимальным временем запаздывания

Анализ публикаций

Тормозные приводы современных автомобилей могут быть разделены на замкнутые (гидростатические), работающие по принципу изменения объема тормозной системы в процессе торможения, и разомкнутые (высокого давления), имеющие более сложную конструкцию и оснащенные внешним источником энергии в виде гидронасоса высокого давления обычно в сочетании с пневмогидроаккумулятором [1, 2].

В замкнутых приводах установка АБС обязательна и является частью тормозной системы, так как область их применения – легковые автомобили. В случае разомкнутого привода АБС устанавливается на автомобилях малой грузоподъемности, габаритные размеры тормозных гидроцилиндров которых невелики и, как следствие, величина расхода рабочей жидкости позволяет применять в модуляторах давления гидроклапаны с небольшими размерами золотниковых пар, управляемых стандартными электромагнитами.

АБС является замкнутой системой автоматического управления, состоящая из источника давления, датчиков угловой скорости колес; блока управления, исполнительных устройств (модуляторы давления) и объекта регулирования (тормозные механизмы и контактирующие с дорогой колеса). Расположение элементов АБС на автомобиле, приведенные в работах [3, 4, 5], позволяют реализовать различные принципы регулирования, среди которых можно выделить четыре базовых (*IR (Individuelle Regelung)* – индивидуальное регулирование; *InR (Indirekte Regelung)* – косвенное регулирование; *SH (Select-High)* – регулирование по высокому порогу; *SL (Select-Low)* – регулирование по низкому порогу), и их модификации (*MIR (Modifizierte Individuelle Regelung)* – модифицированное индивидуальное регулирование; *InIR (Indirekte Individuelle Regelung)* – косвенное индивидуальное регулирование; *InSR (Indirekte Seitenregelung)* – косвенное бортовое регулирование; *MAR (Modifizierte Achsregelung)* – модифицированное осевое регулирование; *MSR (Modifizierte Seitenregelung)* – модифицированное бортовое регулирование), работа которых описана в [3, 4].

В зависимости от исходных данных, используемых в ходе разработки алгоритмов работы

АБС, выделяют два подхода. К первой группе относят алгоритмы, использующие в качестве первичной информации, кинематические параметры вращения колес автомобиля [6, 7, 8–10], а ко второй – внутренние и внешние силы, действующие на колесо при движении транспортного средства [5].

За основу в первой группе алгоритмов управления принимают уравнение динамического равновесия колеса, имеющее вид [3, стр. 10, 4, стр. 69, ф. 2, 3]:

$$M_T - J_k \frac{d\omega_k}{dt} = R_z \cdot r_k \cdot \varphi_x(S), \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1)$$

где M_T – тормозной момент, Н·м;

J_k – момент инерции колеса, кг·м²;

$d\omega_k/dt$ – угловое замедление колеса, с⁻²;

R_z – нормальная реакция дороги, Н; r_k – радиус качения колеса, м;

$\varphi_x(S)$ – зависимость коэффициента сцепления в тангенциальном направлении (φ_x) от коэффициента относительного проскальзывания колеса (S).

Зависимость $\varphi_x(S)$, приведенная на рис. 1, оказывает большое влияние на процесс торможения [4, 11]. Практически для всех типов поверхностей зависимость $\varphi_x(S)$ имеет экстремум при критическом значении проскальзывания $S_{кр}$. Это позволяет разделить алгоритмы использующие кинематические параметры на экстремальные (регулирование по коэффициенту проскальзывания (S -регулирование), регулирование по коэффициенту сцепления) и доэкстремальные (градиентное регулирование) [4].

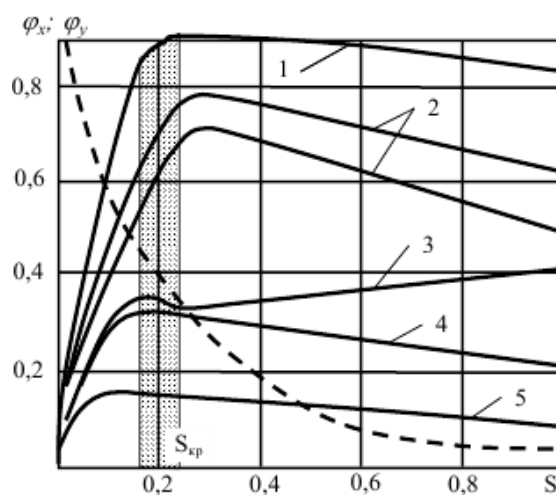


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов сцепления от коэффициента относительного проскальзывания колеса [3, стр. 8]:

1 – сухой асфальт; 2 – мокрый асфальт;
3 – свежеснежный снег; 4 – укатанный снег; 5 – лед

Регулирование по коэффициенту проскальзывания является более распространенным и делится на подгруппы [4]:

- использование режима равенства приведенного углового замедления колеса и линейного замедления автомобиля;
- определение относительного проскальзывания колеса и его дальнейшее поддерживание в заданных пределах;
- использование порогового замедления тормозящего колеса;
- комбинированное регулирование.

Применение силовых алгоритмов позволяет исключить методические ошибки, возникающие при определении величины курсовой скорости автомобиля либо величины коэффициента сцепления, т. к. нет необходимости в измерении угловых скоростей колес [12, 13]. Сущность метода заключается в определении реактивных сил, возникающих в элементах тормозных механизмов, воспринимающих фактически реализуемые колесом тормозные моменты с опорной поверхностью [13].

Существенное влияние на алгоритм функционирования АБС оказывает конструктивное исполнение исполнительного механизма АБС, регулирующего давление в тормозных цилиндрах (модулятор давления). Применение элементов дискретного типа позволяет реализовать двухфазные, трехфазные и многофазные циклы работы АБС. В случае использования пропорциональной аппаратуры возможно управление давлением по нециклическому алгоритму путем поддержания сцепления колеса с дорогой в заданном оптимальном диапазоне во время торможения транспортного средства. В работах [14, 15] приведены схемные решения, позволяющие реализовать циклический и нециклический алгоритмы работы модулятора, в [15] представлена классификация и взаимосвязь схемных решений и алгоритмов АБС.

Рассмотренные основные принципы регулирования и подходы, применяемые при составлении алгоритмов, базовые алгоритмы управления АБС и возможные типы тормозных приводов с АБС, позволяют составить классификацию антиблокировочных систем (рис. 2).



Рисунок 2 – Классификация антиблокировочных систем

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является анализ полученных динамических характеристик золотника вспомогательного клапана, предложенного в [14] гидравлического модулятора для последующего обоснования величины жесткости возвратной пружины в зависимости от геометрических параметров рабочего окна золотниковой пары.

Определение основных параметров модулятора тормозного гидропривода с АБС карьерного самосвала

В настоящее время на отечественных карьерных самосвалах БЕЛАЗ АБС, дающая, как показывает практика, на других типах автомо-

билей значительный положительный эффект, не реализована, т. к. основные схемные решения модуляторов АБС не позволяют реализовать необходимый расход жидкости в случае применения гидравлической аппаратуры с типовыми размерами рабочих площадей и управляемых стандартными электромагнитами, что требуют увеличения размеров золотниковых пар, приводит к росту массы запорных элементов и, как следствие, необходимого усилия развиваемого электромагнитом, позволяющего функционировать модулятору с необходимой частотой. Решение данной проблемы возможно путем применения либо форсированных уникальных электромагнитов, что приведет к повышению инерционности элементов модулято-

ра и возникновению нежелательных колебательных процессов во время смены фаз, происходящей с высокой частотой, либо электрогидравлических усилителей, снижающих быстродействие как модулятора, так и всего тормозного привода карьерного самосвала.

Для уменьшения инерционности элементов гидравлического модулятора с целью обеспечения заданного быстродействия антиблокировочной системы карьерного самосвала, предложен гидравлический модулятор АБС (рис. 3), в котором параллельно впускному клапану с электромагнитным управлением установлен нормально закрытый клапан с гидравлическим управлением. Принцип работы такого модулятора описан в источнике [14].

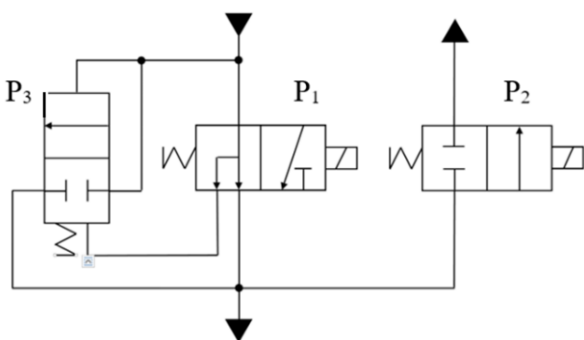


Рисунок 3 – Гидравлический модулятор тормозного привода:
P1 – впускной клапан; P2 – сливной клапан;
P3 – вспомогательный клапан

В процессе экстренного торможения частота срабатывания гидравлического модулятора АБС находится в пределах от 4 до 12 Гц [3]. Поэтому необходимо максимально сократить время переходного процесса, что позволит сохранить требуемое быстродействие АБС, и исключить колебания запорного элемента в момент достижения конечного положения, приводящие к появлению ударов в конце хода, влекущих к ухудшению качества работы системы, снижению объемного КПД, увеличению износа элементов модулятора и т. п.

Впускной P1 и выпускной P3 клапаны являются типовыми с определенными характеристиками.

На рис. 4 приведена расчетная схема учитывающая основные силы, действующие на золотник вспомогательного P3 клапана с гидравлическим управлением: инерционная сила $F_{и}$; сила вязкого трения $F_{в.тр}$; усилие пружины $F_{пр}$; управляющее усилие $F_{упр.}$, позволяющая исследовать динамику вспомогательного P3 клапана.

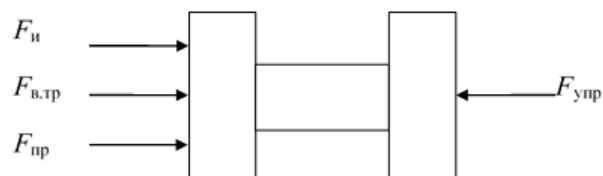


Рисунок 4 – Расчетная схема, учитывающая силы, действующие на золотник вспомогательного клапана

Уравнение, описывающее динамику золотника вспомогательного P3 клапана, получение которого приведено в [16], имеет вид:

$$\frac{m_{зол}}{c_{пр}} \cdot \frac{d^2 x_{зол}}{dt^2} + \frac{k_{в.тр}}{c_{пр}} \cdot \frac{dx_{зол}}{dt} + x_{зол} = \frac{\pi \cdot d_{зол}^2}{4 \cdot c_{пр}} \cdot \Delta p_{упр}, \quad (2)$$

где $m_{зол}$ – масса золотника распределителя;

$x_{зол}$ – перемещение золотника распределителя;

$k_{в.тр}$ – коэффициент вязкого трения;

$c_{пр}$ – жесткость пружины;

$\Delta p_{упр}$ – давление управления;

$d_{зол}$ – диаметр золотника.

После преобразований по Лапласу при нулевых начальных условиях выражение (2) и последующего его решения методом операционного исчисления при подаче на вход системы единичного ступенчатого воздействия $1(t)$ было получено выражение в общем виде, описывающее переходной процесс для системы второго порядка:

$$y(t) = A \cdot e^{s_1 t} + B \cdot e^{s_2 t}, \quad (3)$$

где A и B – некоторые коэффициенты, методика определения которых описано в [17];

t – время, с.

Сжатие возвратной пружины происходит во время работы вспомогательного P3 клапана на фазе экстренного торможения при возникновении управляющего перепада давления, смещающего запорный элемент, а на протяжении фаз сброса и выдержки давления, когда его значение становится равным нулю, пружина возвращает золотник в исходное положение. Также жесткость пружины должна иметь некоторое оптимальное значение, при деформации пружины, что позволит обеспечить максимальный ход запорного элемента за минимальное время его перемещения.

Расчеты, позволяющие определить жесткость возвратной пружины проводились на основании выражения (3), в соответствии с гео-

метрическими параметрами рабочего окна вспомогательного Р₃ клапана, полученными в [15] и представлены в табл. 1.

Величина коэффициента демпфирования ξ может быть определена по выражению [16]:

$$\xi = \frac{k_{в.гр}}{2 \cdot \sqrt{m_{зол} \cdot C_{пр}}}.$$

Рекомендуемые пределы величины коэффициента демпфирования ξ от 0,7 до 1,0 [18].

Таблица 1 – Исходные данные для выбора параметров возвратной пружины вспомогательного клапана Р₃

Набор параметров		1	2	3	4
Диаметр золотника вспомогательного клапана Р ₃ , мм	$d_{зол3}$	16	20	25	32
Масса золотника вспомогательного клапана Р ₃ , г	$m_{зол3}$	52	65	74	86
Перемещение золотника вспомогательного клапана Р ₃ , мм	$x_{зол3}$	1,5	2,0	2,5	3,0
Номинальное давление, МПа	$p_{ном}$	10			
Коэффициент демпфирования	ξ	0,7			

По результатам расчетов были выбраны следующие значения жесткости возвратной пружины для различных значений параметров рабочего окна вспомогательного клапана Р₃: при 16 мм × 1,5мм – 267 Н/м; при 20 мм × 2,0 мм – 313 Н/м; при 25 мм × 2,5 мм – 410 Н/м; при 32 мм × 3,0мм – 538Н/м.

Графики перемещения $h_3(t)$ золотника вспомогательного клапана Р₃, полученные по результатам расчета, приведены на рисунке 5. Сплошная линия показывает перемещение $h_3(t)$ запорного элемента вспомогательного клапана Р₃, пунктирные линии – границы коридора, позволяющие определить время переходного процесса. В качестве входного воздействия принималось единичное ступенчатое воздействие $x(t) = x_0 \cdot 1(t)$, где величина $x_0 = 2 \% p_{ном} = 0,2$ МПа, равная максимальному допустимому перепаду давлений на клапане [19]. Границы коридора – $\pm 5 \%$ от установившегося значения, равного $x_0 = 5 \% p_{ном} = 0,2$ МПа.

Значения перерегулирования и времени переходного процесса для всех случаев приблизительно одинаковы и, соответственно, составляют приблизительно 4,7 % и 0,044 с.

Значения перерегулирования и времени переходного процесса для всех случаев приблизительно одинаковы и, соответственно, составляют приблизительно 4,7 % и 0,044 с.

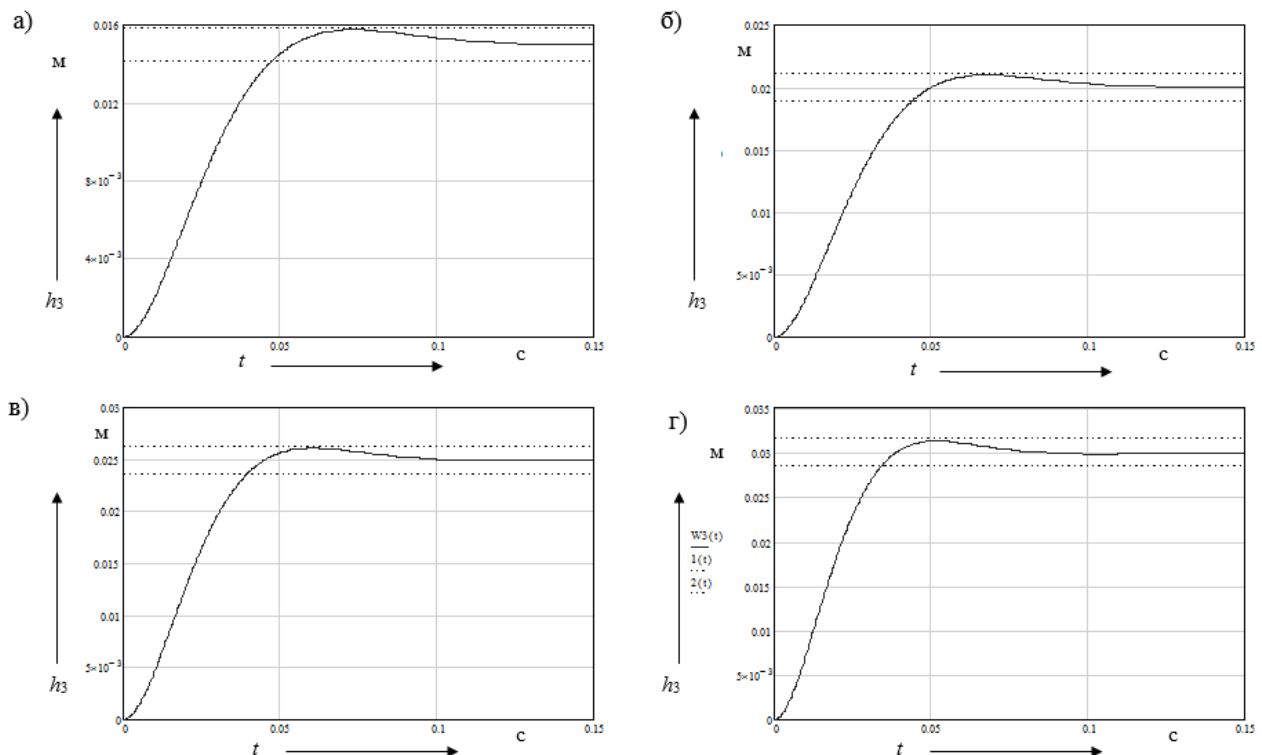


Рисунок 5 – Выбор жесткости возвратной пружины:
а) набор параметров 1; б) набор параметров 2; в) набор параметров 3; г) набор параметров 4

Выводы

Выполнен анализ основные принципов регулирования и подходы, применяемые при составлении алгоритмов, базовые алгоритмы

управления АБС и возможные типы тормозных приводов с АБС, позволили составить классификационную схему антиблокировочных систем. Из анализа научных трудов, использован-

ных в ходе составления классификации антиблокировочных систем, следует, что в настоящее время большая часть работ посвящена либо совершенствованию алгоритмов управления работой АБС, либо разработке пневматических и гидравлических тормозных систем с АБС легковых автомобилей и автомобилей малой грузоподъемности, и практически отсутствуют работы, связанные с совершенствованием гидравлических тормозных систем с АБС и их компонентов карьерных самосвалов.

Разработана расчетная схема, учитывающая силы, действующие на золотник вспомогательного клапана предложенного гидравлического модулятора АБС для тормозных систем карьерных самосвалов, и уравнение его движения, позволяющие определить жесткость возвратной пружины для различных геометрических параметров золотниковой пары, обеспечивающей заданное быстродействие и перерегулирование в конце хода золотника и в дальнейшем обосновать типоразмерный ряд таких модуляторов применительно к карьерным самосвалам различной грузоподъемности.

Литература

1. Капустин, В. В. Исследование динамики и обоснование параметров модулятора противоблокировочного устройства гидравлического тормозного привода большегрузных автомобилей : диссертация канд. техн. наук : 05.05.03 / В. В. Капустин; Белорусский политехнический институт. – Минск, 1977. – 239 с.
2. Тормозное управление гидравлической тормозной системы с АБС: основы конструкции и диагностики / А. П. Панычев [и др.] : Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – 42 с.
3. Петров, А. П. Антиблокировочная и противобуксовочная системы тормозов: учебное пособие. / А. П. Петров, С. Е. Хоменко. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2003. – 103 с.
4. Активная безопасность автомобиля: основы теории / В. Г. Бутылин, М. С. Высоцкий, В. Г. Иванов, И. И. Лепешко. – Национальная академия наук Беларуси (Минск). – Минск: Белавтотракторостроение, 2002. – 183 с.
5. Основы создания САБ АТС на силовом анализе : монография / И. С. Сазонов [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. И. С. Сазонова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – 256 с.
6. Нефедьев, Я. Н. Конструкции и характеристики электронных антиблокировочных систем зарубежных фирм. / Я. Н. Нефедьев. – НИИАВТОПРОМ. – М. : 1979. – 60 с.
7. Скойбеда, А. Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин / А. Т. Скойбеда ; под ред. В. В. Гуськова. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 280 с.
8. Bosch. Автомобильный справочник : пер. с англ. – М. : За рулем, 2000. – 896 с.
9. Гируцкий, О. И. Электронные системы управления агрегатами автомобиля / О. И. Гируцкий, Ю. К. Есеновский-Лашков, Д. Г. Поляк. – М. : Транспорт, 2000. – 213 с.
10. Кадаков, М. Renault Scenic RX4. Почти внедорожник / М. Кадаков // Авторевю. – 2000. – № 1. – С. 4.
11. Тарасик, В. И. Теория движения автомобиля: уч. для вузов / В. И. Тарасик – СПб: БХВ-Петербург, 2006 г. – 478 с.
12. Теоретические основы антиблокировочных и противобуксовочных систем нового поколения / Н. Н. Гурский [и др.] // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. – 2009. – № 3. – С. 46–49.
13. Сазонов, И. С. Управление движением колесных машин на основе измерения и анализа силовых факторов / И. С. Сазонов, П. А. Амельченко, В. И. Василевский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3–4. – С. 177–188.
14. Модулятор гидравлического тормозного привода с большим расходом рабочей жидкости / М. И. Жилевич, С. В. Ермилов, П. Р. Бартош, П. Н. Кишкевич // Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного ун-та : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 75. – С. 83–88.
15. Ермилов, С. В. Расчетные исследования и анализ расходно-перепадных характеристик модулятора гидравлической антиблокировочной системы для автомобилей особо большой грузоподъемности / С. В. Ермилов, М. И. Жилевич // Вестник Брестского гос. техн. университета. Серия: Машиностроение. – Брест, БГТУ – 2020. – № 122/4, 2020. – С.40–43.
16. Жилевич, М. И. Математическая модель движения золотника распределителя для исследования влияния параметров возвратной пружины = Mathematical model of the movement of the valve spool to research the influence of the parameters of the return spring / М. И. Жилевич, С. В. Ермилов, Д. Д. Можейко // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов : в 2 томах / Белорус. нац. техн.

ун-т; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 277–281.

17. S. Burns, Roland – Advanced Control Engineering / Roland S. Burns // Oxford : Butterworth-Heinemann, 2001 – 450 p.

18. Šulc, B. – Nonlinear modelling and control of hydraulic actuators / B. Šulc, J. A. Jan // Acta Polytechnica, 2002. – Vol. 42. – No. 3. – P. 41–47.

19. Кишкевич, П. Н. Статический и динамический расчет гидро- и пневмораспределителей: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / П. Н. Кишкевич, М. И. Жилевич, П. Р. Бар-тош. – Минск : БНТУ, 2012. – 80 с.

UDC 629.114.4

KHARYTONCHYK Sergei V., D. Sc. in Eng., Ass. Prof.,
rector
E-mail: skharytonchyk@bntu.by

YERMILOV Sergei V.,
Senior lecturer
E-mail: gpa_atf@bntu.by

ZHYLEVICH Michael I., Ph.D. in Eng., Ass. prof.

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 20 September 2024

CALCULATED RESEARCH AND ANALYSIS OF THE TRANSIENT CHARACTERISTICS OF THE MODULATOR OF THE HYDRAULIC ANTI-LOCK SYSTEM FOR HEAVY-DUTY VEHICLES

Optimal control of the braking system makes it possible to increase the safety of vehicle movement. The creation and development of anti-lock braking systems (ABS), which became the basis for all other traction control systems, has become an important stage in increasing the active safety of cars. In modern ABS, despite the diversity in the structure and logic of the system, which solves the problem of preventing wheel locking and implementing optimal coupling properties of the wheel with the road while the car is moving, some generalized features can be identified that allow creating a classification of such systems. In accordance with the current UNECE Regulation No. 13, the installation of ABS on heavy-duty vehicles (for example, dump trucks) is not mandatory, however, some world manufacturers are working on installing such systems on quarry dump trucks as an additional option. The large overall dimensions of the braking mechanisms, which require a significant flow of working fluid, allowing for the required speed of the brake actuator, are one of the main problems in the implementation of anti-lock systems on dump trucks. In the course of solving this problem, a schematic solution of the hydraulic modulator ABS was developed, confirmed by a patent for the invention. Computational studies were performed that made it possible to determine the overall dimensions of the spool of its actuators and the stiffness of the return spring in order to ensure minimum speed and re-regulation during the movement of the spool at the stage of the first emergency speed, when the flow rate is maximum.

Keywords: anti-lock system, modulator, brake hydraulic drive, design scheme, especially heavy-duty vehicle, return spring stiffness.

References

1. Kapustin, V. V. Study of dynamics and substantiation of parameters of the modulator of the anti-blocking device of the hydraulic torque drive of heavy-duty vehicles : dissertation... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / V.V. Kapustin; Belarusian Polytechnic Institute. – Minsk, 1977. – 239 p.
2. Braking control of a hydraulic braking system with ABS: fundamentals of design and diagnostics / A. P. Panychev [et al.] : Yekaterinburg : UGLU, 2013. – 42 p.
3. Petrov, A. P. Anti-lock and anti-slip torsion systems: Textbook. / A. P. Petrov, S. E. Khomenko. – Kurgan: Publishing house of the Kurgan State University, 2003. – 103 p.
4. Active car safety: fundamentals of theory / V. G. Butylin [et al.]. – The National Academy of Sciences of Belarus (Minsk). – Minsk: Belavto-traktorostroenie, 2002. – 183 p.
5. The basics of creating a PBX based on force analysis: monograph / I. S. Sazonov [et al.]; under the general editorship of Dr. of Technical Sciences, Prof. I. S. Sazonov. – Mogilev : Byelorussian-Russian University, 2016. – 256 p.
6. Nefediev, Ya. N. Designs and characteristics of electronic anti-lock systems of foreign companies. / Ya. N. Nefediev. – NIIAVTOPROM, M. : 1979. – 60 p.
7. Skoybeda, A. T. Automation of running systems of wheeled vehicles / A. T. Skoybeda; edited by V. V. Guskov. – Mn. : Science and Technology, 1979. – 280 p.
8. Bosch. Automobile reference book : trans. from English – M. : Behind the wheel, 2000. – 896 p.
9. Girutsky, O. I. Electronic control systems for car units / O. I. Girutsky, Yu. K. Esenovskiy-Lashkov, D. G. Polyak. – M. : Transport, 2000. – 213 p.
10. Kadakov, M. Renault Scenic RX4. Almost an SUV / M. Kadakov // Autorevue. – 2000. – No. 1. – p. 4.
11. Tarasik, V. I. Theory of car movement: teaching for universities / V. I. Tarasik – SPb BHV-Petersburg, 2006 – 478 p.
12. Theoretical foundations of anti-lock and anti-slip systems of a new generation / N. N. Gursky [et al.] // Bulletin of the Belarusian National Technical University : scientific and technical journal. – 2009. – No. 3. – pp. 46–49.
13. Sazonov, I. S. Motion control of wheeled vehicles based on measurement and analysis of force factors / I. S. Sazonov, P. A. Amelchenko, V. I. Vasilevsky // Mechanics of machines, mechanisms and materials. – 2012. – No. 3–4. – pp. 177–188.
14. Modulator of a hydraulic brake drive with a high flow rate of working fluid / M. I. Zhilevich [et al.] // Bulletin of the Kharkiv National University. automobile and Road Transport University : collection of scientific tr. / Kharkiv National auto-door. Univ. ; [editorial board.: Bogomolov V. A. and others]. – Kharkiv : KHNADU, 2016. – Issue 75. – pp. 83–88.
15. Ermilov, S. V. Computational studies and analysis of the flow-differential characteristics of the modulator of the hydraulic anti-lock system for heavy-duty vehicles / S. V. Ermilov, M. I. Zhilevich // Bulletin of the Brest State Technical University. university. Series: Mechanical Engineering. – Brest, BSTU. —2020. – No. 122/4, 2020. – pp. 40–43.
16. Zhilevich, M. I. Mathematical model of the movement of the distributor spool to study the influence of the parameters of the return spring / M. I. Zhilevich, S. V. Ermilov, D. D. Mozheyko // Automotive industry and automobile transport : collection scientific papers : in 2 volumes / Belarusian National Technical Univ.; editorial board: D. V. Kapsky (ed.) [and others]. – Minsk : BNTU, 2021. – Vol. 1. – pp. 277–281.
17. S. Burns, Roland – Advanced Control Engineering / Roland S. Burns // Oxford : Butterworth-Heinemann, 2001 – 450 p.
18. Šulc, B. Nonlinear modelling and control of hydraulic actuators / B. Šulc, J. A. Jan // Acta Polytechnica 2002. – Vol. 42. – No. 3. – P. 41–47.
19. Kishkevich, P. N. Static and dynamic calculation of hydro and pneumatic distributors: an educational and methodological guide for students of specialty 1-36 01 07 «Hydropneumatic systems of mobile and technological machines» / P. N. Kishkevich, M. I. Zhilevich, P. R. Bartosh. – Minsk : BNTU, 2012. – 80 p.

ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Рассмотрена терминология и классификационные признаки транспортных средств, участвующих в дорожном движении Республики Беларусь. Предложено и обосновано сформировать единую классификацию транспортных средств участвующих в дорожном движении нашей страны с выделением уровней, с общими классификационными признаками. Сделаны предложения по разработке классификации, что требует разработки соответствующей ее номенклатуры – системы однозначных наименований для всех классификационных групп транспортных средств. Рассмотрены проблемы создания номенклатуры, которая выступает как специальная научная задача, регламентированная специальным нормативным правовым актом. Сформулированы отличия номенклатуры транспортных средств участвующих в дорожном движении. Сделан акцент на однозначность и глубину проработки формулировок терминов и определений транспортных средств, установления четких, универсальных (единый набор наименований, принятый всеми специалистами) критериев их отнесения к тому или иному уровню или подуровню в рамках классификации (номенклатуры); уникальность каждого наименования, которое должно быть единственным и отличным от других. Установлено, что стабильность и гибкость могут быть достигнуты за счет исключения произвольных изменений наименований без изменения самой классификации или перемещения в классификаторе с одного уровня на другой.

Ключевые слова: транспортное средство, Правила дорожного движения, классифицирующий признак транспортного средства, дорожное движение.

Введение

Развитие средств под управлением человека для собственного перемещения и перемещения груза по дороге получил резкий импульс в развитии, когда произошла замена источника энергии в виде мускульной силы животного на устройство, которое преобразует какой-либо вид энергии (электрической, химической, тепловой) в механическую. Это устройство получило название двигатель. Двигатель позволял реализовать самые смелые решения в конструктивном исполнении средства передвижения. Так, новые средства перемещения получили общее название транспортное средство (далее – ТС), а те ТС, для привода которых в движение был использован двигатель, в последующем получили название «машина», а затем механическое транспортное средство, которое наряду с немалыми плюсами имеет также и определённые негативные аспекты [1, 3]. Реальные потребности в перемещении людей и (или) грузов по дороге и полет мысли конструкторов привели к необходимости как систематиза-

ции уже созданных ТС, так и прогнозирования появления новых видов и конструкций.

Форма систематизации знания, когда вся область изучаемых объектов представлена в виде системы классов, или групп, по которым эти объекты распределены на основании их сходства в определенных свойствах получила название классификации. Классификация как общенаучное и общеметодологическое понятие применительно к ТС призвана:

- представлять в надежном и удобном для обозрения и распознавания виде всю область средств передвижения по дороге;
- заключать в себе максимально полную информацию о ТС.

Основная часть

Вполне логично говорить об искусственной классификации ТС, поскольку их группировка осуществлялась и осуществляется на основании лишь отдельных, произвольно выбранных и удобно различимых свойств (классификационных признаков) ТС. Так, классификация ТС

в Венской Конвенции 1968 года о дорожном движении, ГОСТ 31286-2005 «Транспорт дорожный. Основные термины и определения. Классификация», техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) – (далее – ТРТС) и Правилах дорожного движения (далее – ПДД) не едина [4,5].

Применительно к ПДД группировка ТС, участвующих в дорожном движении, осуществляется на основании отдельных, и удобно различных свойств [6]. Так, например, ТС могут иметь или не иметь двигатель и предназначены для: движения по дороге; перевозки пассажиров; перевозки грузов; перевозки установленного на ТС оборудования. При этом ТС, участвующие в дорожном движении при регистрации в Госавтоинспекции классифицируют по типам и категориям.

Тип ТС (шасси, компонента) – это ТС (шасси, компоненты) с общими конструктивными признаками, зафиксированными в техническом описании, изготовленные одним изготовителем.

Категория ТС – классификационная характеристика ТС, применяемая в целях установления требований, изложенных в ТРТС.

Проведем анализ участвующих в дорожном движении ТС по ранее перечисленным классифицирующим признакам (не зависимо от преимуществ, предоставляемых каждым из них [7,8,9]). Для удобства на рисунке 1 представлена структура ТС участвующих в дорожном движении с учетом терминов, изложенных в ПДД.

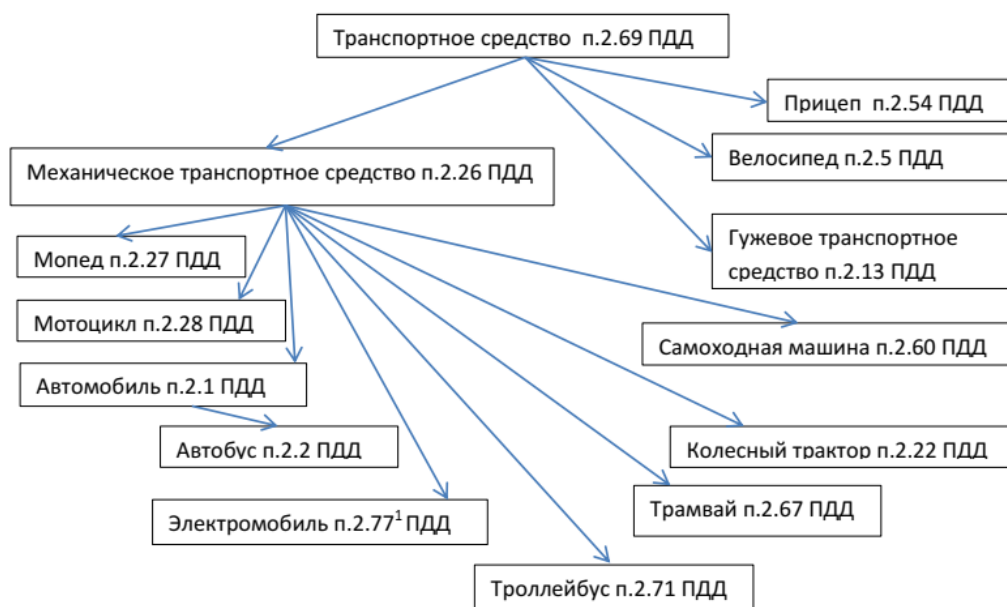


Рисунок 1 – Классификация транспортных средств в соответствии с терминами Правил дорожного движения

Анализ схемы на рис.1 показывает, что в тексте ПДД используются названия ТС, значение которых отсутствует в «основных терминах и понятиях» п. 2 ПДД. К таким ТС относятся: автомобиль-тягач - п. 2.22 ПДД; грузовой автомобиль – п. 2.77, п. 24.3, п. 79.4, п. 89.1, п. 177 и ряд других пунктов ПДД; легковой автомобиль – п. 89.1, п. 89.3, п. 178 ПДД; автомобиль-такси п. 9.5, п. 178 ПДД, грузопассажирский автомобиль, тягач п. 2.77 ПДД; седельный тягач п. 2.22 ПДД. Перечисленные ТС не могут быть включены в классификацию (рис. 1) т. к. нет однозначного понимания смысловой нагрузки, которые несут каждое из этих слов.

В соответствии с приложением 1 к ТРТС механические ТС категории L подразделяются на следующие объекты (подкатегории).

Категория L₁ (мопеды, мотовелосипеды, мокики) (Мóкик – это мопед с коробкой передач и без велосипедного привода (термин связан с тем, что у мокиков двигатель внутреннего сгорания запускается кикстартером). Кикстартер – тип стартера на мотоциклах, мотороллерах и квадроциклах, приводимый в действие ногой.) – двухколесные ТС, максимальная конструктивная скорость которых не превышает 50 км/ч, приводимые в движение:

– двигателем внутреннего сгорания (далее – ДВС) – рабочий объем которого, не превышает

50 куб. см. (Рабочий объем равен сумме рабочих объемов всех цилиндров двигателя. В свою очередь, рабочий объем цилиндра определяется как произведение площади сечения цилиндра на длину рабочего хода поршня (от нижней до верхней мертвых точек));

– электродвигателем номинальной максимальной мощностью (мощность двигателя, с которой он мог бы работать в номинальном режиме – режиме эффективной работы на протяжении длительного времени (не менее нескольких часов)). Номинальная и максимальная мощность измеряется в Вт (кВт) или лошадиных силах (л. с.) и указывается на щитке электрической машины вместе с остальными основными характеристиками) в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

Категория L_2 (мопеды, мотовелосипеды, мокики) – трехколесные ТС с любым расположением колес, максимальная конструктивная скорость которых не превышает 50 км/ч, приводимые в движение:

– ДВС с принудительным зажиганием (рабочий объем двигателя, не превышает 50 куб. см);

– ДВС другого типа с максимальной эффективной мощностью, не превышающей 4 кВт;

– электродвигателем – номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

Категория L_3 :

– мотоциклы (от мото (мотор) и греч. *kuklos* – колесо);

– мотороллеры (мотороллер от нем. *Motoroller* – катящийся с помощью мотора: *Motor* – мотор, двигатель и *rollen* – катить) разновидность мотоцикла, отличающаяся более комфортабельными условиями для водителя, а именно, передний щит, переходящий вниз в широкие подножки, хорошо защищает водителя и пассажира от пыли и грязи);

– трициклы (трицикл от др.-греч. *τρι-* «трех» и *κύκλος* «круг» – транспортное средство с тремя колесами));

– двухколесные ТС, рабочий объем двигателя которых (в случае ДВС) превышает 50 куб. см (или) максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч.

Категория L_4 : (мотоциклы, мотороллеры, трициклы) – трехколесные ТС с колесами, асимметричными по отношению к средней продольной плоскости, рабочий объем двигателя которых (в случае ДВС) превышает 50 куб. см, и (или) максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч.

Категория L_5 (мотоциклы, мотороллеры, трициклы) – трехколесные ТС с колесами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости ТС, рабочий объем двигателя которых (в случае ДВС) превышает 50 куб. см, и (или) максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч.

Категория L_6 (квадрициклы) – четырехколесные ТС, масса которых без нагрузки не превышает 350 кг без учета массы аккумуляторов (в случае привода электрическим двигателем), максимальная конструктивная скорость не превышает 50 км/ч, и приводимое в движение:

– ДВС с принудительным зажиганием – рабочим объемом двигателя, не превышающим 50 куб. см;

– ДВС другого типа максимальной эффективной мощностью, не превышающей 4 кВт;

– электрическим двигателем номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

Категория L_7 (квадрициклы) – четырехколесные ТС, иные, чем ТС категории L_6 , масса которых без нагрузки не превышает 400 кг (550 кг для ТС, предназначенных для перевозки грузов) без учета массы аккумуляторов (в случае привода электрическим двигателем) и максимальная эффективная мощность двигателя не превышает 15 кВт.

В соответствии с ПДД механические ТС категории L_1 , L_2 , L_6 рассматриваются как мопед. Мопед – механическое ТС, приводимое в движение двигателем с рабочим объемом до 50 куб. см и имеющее максимальную конструктивную скорость движения, определенную его технической характеристикой, не более 50 км/ч. К мопедам приравниваются велосипеды с подвесным двигателем, мокики и другие механические ТС с аналогичными характеристиками (П. п. 2.27. п. 2 ПДД).

Механические ТС категорий L_3 – L_5 рассматриваются ПДД как мотоцикл. Мотоцикл – двухколесное механическое ТС с боковым прицепом или без него, приводимое в движение двигателем с рабочим объемом 50 куб. см и более. К мотоциклам приравниваются трехколесные механические ТС (трицикл), имеющие массу в снаряженном состоянии не более 400 кг, а также механические ТС, оборудованные ДВС с рабочим объемом до 50 куб. см, имеющие максимальную конструктивную скорость движения, определенную их технической характеристикой, более 50 км/ч.

Механические ТС категорий L_6 и L_7 рассматриваются ПДД как квадрицикл. Квадри-

циклы (мотоколяски) – четырехколесные механические ТС, имеющие приводы управления автомобильного типа и массу в снаряженном состоянии не более 550 кг, ПДД приравнены к автомобилям (П. п. 2.2. п. 2 ПДД).

К категории М отнесены ТС, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров (пассажир – непричастное к управлению транспортным средством физическое лицо, находящееся в (на) транспортном средстве, а также входящее (садящееся) в (на) транспортное средство или сходящее (высаживающееся) с ТС. (П. п. 2.44. п. 2 ПДД)) и грузов.

Категория М₁ (легковые автомобили) – ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения. К категории М₁ также относятся ТС, используемые для перевозки пассажиров и грузов имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения если производство предусмотренного конструкцией числа пассажиров на условную массу одного пассажира (68 кг) не превышает расчетную массу перевозимого одновременно с пассажирами груза.

Категория М₂ (автобусы, троллейбусы, специализированные пассажирские ТС и их шасси легковые автомобили) ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, технически допустимая максимальная масса (технически допустимая общая масса – максимальная масса ТС, установленная организацией (заводом)-изготовителем (с грузом, водителем и пассажирами). Технически допустимой общей массой автопоезда является сумма технически допустимых общих масс автомобиля (колесного трактора) и прицепа. (П. п. 2.64 п. 2 ПДД)) которых не превышает 5 т. ТС категории М₂ по вместимости подразделяются на следующие классы:

- А – не более 22 стоящих и сидящих пассажиров;
- В – не более 22 только сидящих пассажиров;
- I – свыше 22 пассажиров и имеется выделенная площадь для стоящих пассажиров и обеспечивается их быстрая смена;
- II – свыше 22 пассажиров и имеется возможность для перевозки стоящих пассажиров в проходе и (или) на площади, не превышающей площадь двойного пассажирского сидения;
- III – свыше 22 исключительно сидящих пассажиров.

Категория М₃ (автобусы, троллейбусы, специализированные пассажирские ТС и их шасси легковые автомобили) ТС, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, технически допустимая максимальная масса (технически допустимая общая масса – максимальная масса ТС, установленная организацией (заводом-изготовителем) с грузом, водителем и пассажирами. Технически допустимой общей массой автопоезда является сумма технически допустимых общих масс автомобиля (колесного трактора) и прицепа. (п. п. 2.64 п. 2 ПДД) которых превышает 5 т. ТС категории М₃ по вместимости подразделяются на следующие классы:

- А – не более 22 стоящих и сидящих пассажиров;
- В – не более 22 только сидящих пассажиров.
- I – свыше 22 пассажиров и имеется выделенная площадь для стоящих пассажиров и обеспечивается их быстрая смена;
- II – свыше 22 пассажиров и имеется возможность для перевозки стоящих пассажиров в проходе и (или) на площади, не превышающей площадь двойного пассажирского сидения;
- III – свыше 22 исключительно сидящих пассажиров.

ТС повышенной проходимости, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более 8 мест для сидения отнесены к категории М₁G. Аналогично для остальных ТС повышенной проходимости категорий М–М₂G и М₃G.

Категории ТС М₂, М₂G и М₃, М₃G ПДД рассматривают как автобусы (автобус – автомобиль с числом мест для сидения более девяти, включая место водителя (П. п. 2.2. п. 2 ПДД)), троллейбусы (2.71. троллейбус – механическое транспортное средство, приводимое в движение электродвигателем, питание которого обеспечивается по подвесной контактной сети от внешнего источника электрического тока (П. п. 2.71. п. 2 ПДД)), специализированные пассажирские ТС и их шасси (шасси ТС – составная часть грузового автомобиля, прицепа к нему, грузопассажирского автомобиля, тягача, предназначенная для последующего изготовления ТС, не имеющая составляющих частей для перевозки пассажиров и (или) грузов и установленного оборудования. Участие в дорожном движении шасси транспортных средств должно осуществляться в соответствии с требованиями Правил дорожного движения, предъявляемыми к транспортным средствам,

если этими Правилами не установлено иное в отношении шасси транспортных средств (П. п. 2.77-1. п. 2 ПДД).

Механические транспортные средства категории N подразделяются на следующие объекты (виды):

- категория N₁ (автомобили грузовые и их шасси) – ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу не более 3,5 т.

- категория N₂ (автомобили грузовые и их шасси) – ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу свыше 3,5 т, но не более 12 т.

- категория N₃ (автомобили грузовые и их шасси) – ТС, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу более 12 т.

В соответствии с ПДД шасси ТС категории N, оснащенное кабиной и двигателем, которое может с ограничениями временно участвовать в дорожном движении еще имеет название «самоходное шасси».

К категории N отнесены ТС, имеющее не более восьми мест для сидения, не считая места водителя, предназначенное для перевозки пассажиров и грузов, если производство предусмотрено конструкцией числа пассажиров на условную массу одного пассажира (68 кг) превышает расчетную массу перевозимого одновременно с пассажирами груза.

ТС повышенной проходимости, предназначенные для перевозки грузов и имеющие технически допустимую максимальную массу не более 3,5 т отнесены к категории N₁G. Аналогично для остальных ТС повышенной проходимости категорий N–N₂G и N₃G.

К колесным тракторам ПДД относят механические ТС, которые предназначены для выполнения разнообразных технологических операций с помощью навесных, полунавесных и прицепных машин или орудий, а также для привода стационарных машин или движения в составе с прицепом (П. п. 2.22 п. 2 ПДД).

Колесные тракторы по своей конструкции и оснащению приспособлены для участия в дорожном движении.

К самоходным машинам в ПДД отнесены: гусеничный трактор, сельскохозяйственная, дорожная, строительная, иная машина, которые без дополнительных мер обеспечения безопасности дорожного движения, предусмотренных организацией (заводом-изготовителем), не предназначены для участия в дорожном движении. При участии в дорожном движении самоходные машины приравниваются к ТС, а их

движение по дорогам должно осуществляться в соответствии с требованиями ПДД, предъявляемыми к ТС, если ПДД не установлено иное в отношении самоходных машин (П. п. 2.60 п. 2 ПДД).

Трамвай в ПДД (П. п. 2.67 п. 2 ПДД) отнесен к механическим ТС. Трамвай предназначен для движения по рельсам. Участие трамвая в дорожном движении вызвано тем, что в населенном пункте рельсы, по которым движется трамвай, расположены на улице населенного пункта в одном уровне с проезжей частью. В этом отличие трамвайного пути от железнодорожного.

К немеханическим ТС, участвующим в дорожном движении отнесены ТС, приводимые в движение:

- механическим ТС (ТС категории O);
- мускульной силой человека;
- мускульной силой животного.

Немеханические ТС категории O в ПДД получили общее наименование прицеп (полуприцеп). Они предназначены для участия в дорожном движении в составе с механическими ТС категорий L, M, N и колесным трактором. Состав ТС, состоящий из автомобиля (колесного трактора) и буксируемого им прицепа, прицепа-ропуса, полуприцепа получил название автопоезд.

Категория O₁ – прицепы, технически допустимая максимальная масса которых не более 0,75 т.

Категория O₂ – прицепы, технически допустимая максимальная масса которых свыше 0,75 т, но не более 3,5 т.

Категория O₃ – прицепы, технически допустимая максимальная масса которых свыше 3,5 т, но не более 10 т.

Категория O₄ – прицепы, технически допустимая максимальная масса которых более 10 т.

К немеханическим ТС, приводимым в движение мускульной силой человека в ПДД отнесены велосипед и велосмобиль.

Велосипед – транспортное средство, за исключением инвалидных колясок, которое имеет не менее двух колес и приводится в движение мускульной силой человека (людей), находящегося на (в) нем, в частности при помощи педалей или рукояток (П. п. 2.5 п. 2 ПДД).

К велосипеду приравниваются аналогичные по конструкции ТС, имеющие электродвигатель номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 0,25 кВт, и максимальную конструктивную скорость движения, определенную его технической характеристикой, не более 25 км/ч либо

иной двигатель с аналогичной характеристикой. Таким образом механическое ТС, аналогичное по конструкции велосипеду приравнивается к немеханическому.

Веломобиль – ТС, за исключением инвалидных колясок, приводимое в движение мускульной силой человека (людей), находящегося в нем.

Основные отличия велосипеда от велосипеда:

- наличие обтекателя (полного или частичного);
- сиденье, наподобие автомобильного (но не велосипедное седло);
- наличие не менее трех, не установленных в одну линию колес.

Двух из трех указанных отличительных особенностей достаточно [10, 11, 12], чтобы назвать мускулоход веломобилем, а не велосипедом (согласно д. т. н. А. Н. Нарбуту, проф. МАДИ и конструктору веломобилей).

ТС, приводимое в движение мускульной силой животного (животных) отнесено к гужевым (П. п.2.13. п. 2 Правил). В качестве тяговых животных используются лошади, волы, буйволы, ослы, мулы, собаки, олени (и даже овцы, страусы, слоны, ламы, верблюды, жирафы и другие).

Гуж – кожаная или веревочная петля в упряжи. Упряжь – совокупность принадлежностей для соединения животного с ТС (повозкой). Гужевое ТС может быть, как грузовое, так и пассажирское. В зависимости от типа ходовой части различают колесное и санное гужевое ТС.

В то же время в ПДД использован термин «всадник» (см. глава 21 «Движение...всадников», п. 2.8, 2.16 и ряд других), но его определение отсутствует.

Общеизвестно, что всадник – человек верхом на лошади, верблюде, осле, слоне или другом животном, т. е. тот, кто едет верхом.

В том случае, когда на самом животном укрепляется груз, речь идет о вьючном ТС. Вьючных животных считают отдельным видом транспортного средства.

В целях выдачи водительских удостоверений механические ТС (за исключением колесных тракторов) и составы ТС (автопоезд п. 2.3 ПДД, комбинированное ТС п. 2.22¹ ПДД) подразделяются на категории и подкатегории, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита и арабской цифрой – АМ, А, А1, В, С, D, BE, CE, DE, F, I:

- категория АМ – мопеды – (L₁, L₂) (классификация по ТР ТС 018/2011);

- категория А – мотоциклы – (L₄, L₅);

– подкатегория А1 – мотоциклы с рабочим объемом двигателя, не превышающим 125 см³, и максимальной мощностью, не превышающей 11 кВт (легкие мотоциклы) (L₃);

– категория В – автомобили, технически допустимая общая масса которых не превышает 3500 кг и число мест для сидения которых, помимо сиденья водителя, не превышает восьми; автомобиль категории В, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого не превышает 750 кг; автомобиль категории В, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого превышает 750 кг, но не превышает массы автомобиля без нагрузки, а технически допустимая общая масса автомобиля и прицепа, образующих состав, суммарно не превышает 3500 кг (L₆, L₇, M₁, M₁G, N₁, N₁G)*;

– категория С – автомобили, за исключением относящихся к категории D, технически допустимая общая масса которых превышает 3500 кг; автомобиль категории С, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого не превышает 750 кг (M₂, M₂G, M₃, M₃G, N₂, N₃, N₂G, N₃G и в сцепке с O₁);

– категория D – автомобили, предназначенные для перевозки пассажиров и имеющие более восьми мест для сидения, помимо сиденья водителя; автомобиль категории D, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого не превышает 750 кг (M₂, M₃ и в сцепке с O₁);

– категория BE – автомобиль категории В, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого превышает 750 кг и превышает массу автомобиля без нагрузки; автомобиль категории В, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого превышает 750 кг, а технически допустимая общая масса автомобиля и прицепа, образующих состав, суммарно превышает 3500 кг (M₁, M₁G, N₁, N₁G в сцепке с O₂);

– категория CE – автомобиль категории С, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого превышает 750 кг (M₂, M₂G, M₃, M₃G, N₂, N₃, N₂G, N₃G в сцепке с O₂ или O₃);

– категория DE – автомобиль категории D, сцепленный с прицепом, технически допустимая общая масса которого превышает 750 кг (M₂, M₂G, M₃, M₃G, N₂, N₃, N₂G, N₃G в сцепке с O₄);

- категория F – трамваи;

- категория I – троллейбусы.

Колесные тракторы и самоходные машины подразделяются на категории, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита – А, В, С, D, E, F:

- категория А – колесные тракторы с двигателем мощностью до 80 кВт;
- категория В – колесные тракторы с двигателем мощностью свыше 80 кВт;
- категория С – гусеничные тракторы всех типов и бульдозеры на их базе;
- категория D – самоходные машины сельскохозяйственного назначения;
- категория E – дорожно-строительные и иные самоходные машины;
- категория F – одноковшовые экскаваторы с вместимостью ковша до одного кубического метра, специализированные погрузчики.

Анализ классификации механических ТС применяемой в целях выдачи водительских удостоверений показывает, что, в первую очередь, в основу классификации положены весовые признаки.

Результаты проведенного анализа показывают, что общими классифицирующими признаками для классификации ТС, участвующих в дорожном движении на первом этапе могут служить:

- участие ТС в дорожном движении;
- способ получения механической энергии для приведения в движение ТС (мускульная сила животного или человека), двигатель (полученная в результате преобразования в двигателе какой-либо энергии в механическую);
- тип применяемого двигателя (ДВС, электрический, паровой и др.);
- предназначение ТС (перевозка пассажиров, груза, оборудования).

Каждый из классифицирующих признаков можно рассматривать как уровень дифференциации, классифицирующего признака верхнего уровня.

На рис. 2 представлена четырехуровневая классификация ТС на примере термина «мопед».

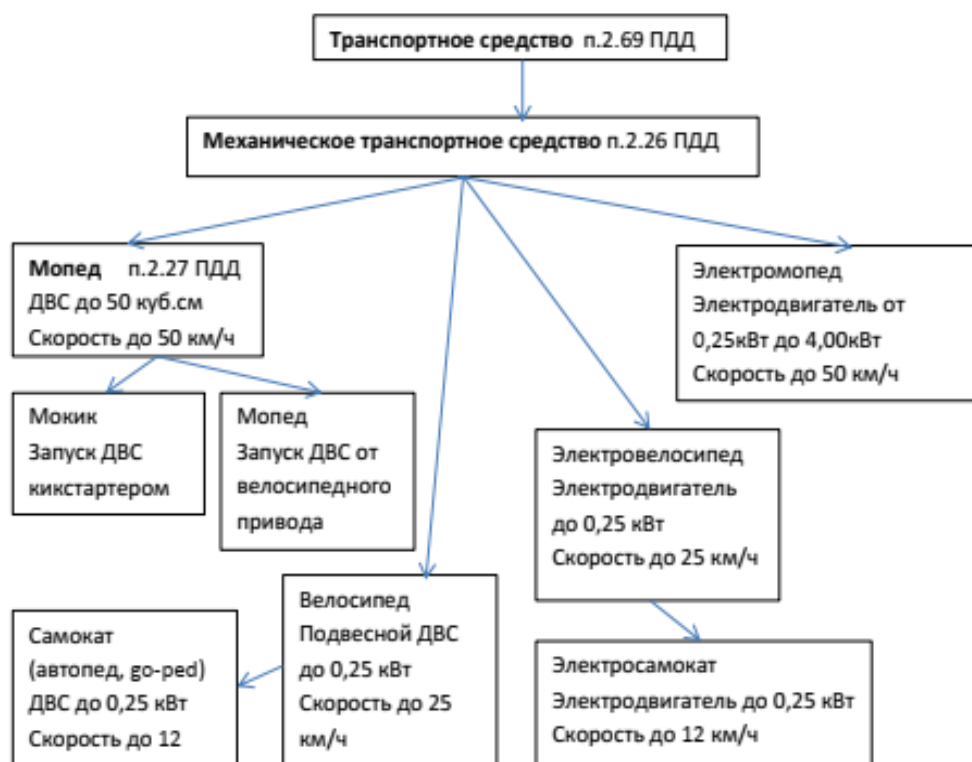


Рисунок 2 – Фрагмент классификации механических транспортных средств, подпадающих под термин «мопед» по уровням дифференциации

Первый уровень – «ТС» – участие ТС в дорожном движении.

Второй уровень – «механическое ТС» – способ получения механической энергии для приведения в движение ТС – наличие двигателя.

Третий уровень – механическое ТС, у которого тип применяемого двигателя:

– ДВС с рабочим объемом до 50 куб. см, и ограничение максимальной скорости – до 50 км/ч (мопед);

– ДВС с рабочим объемом до 50 куб. см, и ограничение максимальной мощности до 0,25 кВт, а скорости – до 25 км/ч (велосипед с подвесным ДВС);

- электродвигатели с номинальной мощностью от 0,25 кВт до 4,00 кВт и ограничение максимальной скорости – до 50 км/ч (электромопед);

- электродвигатели с номинальной мощностью до 0,25 кВт и ограничение максимальной скорости – до 25 км/ч (электровелосипед);

Третий уровень имеет подуровни.

Первый подуровень третьего уровня для мопеда с ДВС:

- вид устройства для запуска ДВС (кикстартер – мокик; велосипедный привод педалями – мопед).

Первый подуровень третьего уровня для велосипеда с подвесным ДВС:

- самокат (автопед, go-ped) – оснащенный ДВС с ограничением максимальной мощности до 0,25 кВт, а скорости – до 25 км/ч.

Первый подуровень третьего уровня для электровелосипеда:

- электросамокат – оснащенный электродвигателем с номинальной мощностью до 0,25 кВт и ограничение максимальной скорости – до 12 км/ч.

Вполне логично, что неприведенный на рис. 2 четвертый уровень будет включать предназначение мопеда, электромопеда, велосипеда и электровелосипеда, если конструкцией предусмотрена перевозка пассажиров, груза, установленного оборудования.

Четвертый уровень может содержать или не содержать подуровни. Четвертый уровень может иметь прямую связь с третьим уровнем: например, электромопед для перевозки пассажира (до 68 кг); электромопед для перевозки груза (до 68 кг); электромопед на котором установлено диагностическое оборудование (до 68 кг).

Аналогично могут быть рассмотрены остальные механические ТС участвующие в дорожном движении и о которых имеется упоминание в ПДД.

Фрагмент классификации, представленной на рис.2 может быть использован для смысловой «разгрузки» таких терминов как:

- велосипед (п. 2.5 ПДД) исключить новеллу о приравнивании к велосипеду велосипеда с электродвигателем: велосипед, – транспортное средство, за исключением инвалидных колясок, которое имеет не менее двух колес и приводится в движение мускульной силой человека (людей), находящегося на (в) нем, в частности при помощи педалей или рукояток. К велосипеду приравниваются аналогичные по конструкции транспортные средства, имеющие электродвигатель номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 0,25 кВт, и максимальную конструктивную скорость движения, определенную его технической характеристикой,

не более 25 км/ч либо иной двигатель с аналогичной характеристикой;

- мопед (п. 2.27 ПДД) исключить новеллу об оснащении мопеда электродвигателем: мопед – двух- или трехколесное механическое транспортное средство, приводимое в движение двигателем с рабочим объемом до 50 куб. сантиметров (в случае двигателя внутреннего сгорания) или электродвигателем номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки более 0,25 кВт и не более 4 кВт и имеющее максимальную конструктивную скорость движения, определенную его техническими характеристиками, не более 50 км/ч. К мопедам приравниваются другие механические–транспортные средства с аналогичными характеристиками.

Также фрагмент классификации, представленной на рис. 2 может быть использован как подход для пересмотра термина 2.60¹ ПДД – «средство персональной мобильности». На его основе можно провести дифференциацию всего их многообразия, как средств передвижения человека, применительно к первому подуровню третьего уровня классификации механических ТС, участвующих в дорожном движении (см. рис. 2). Теперешние средства персональной мобильности, которые по классифицирующим признакам невозможно встроить в предлагаемую систему необходимо отнести к устройствам, для активного отдыха и спортивным снарядам, не предназначенным для использования в дорожном движении, а только на специальных площадках, зонах отдыха и специальных дорожках.

Заключение

Необходимо отметить, что добротная классификация требует разработки соответствующей ей номенклатуры – системы однозначных наименований для всех классификационных групп ТС.

Проблема создания номенклатуры выступает как специальная научная задача, которая, может регламентироваться специальным нормативным правовым актом.

Всякая номенклатура ТС участвующих в дорожном движении должна отличаться:

- однозначностью и глубиной проработки формулировок терминов и определений ТС, критериев их отнесения к тому или иному уровню или подуровню;

- каждое наименование должно быть единственным и отличным от других, чем будет обеспечена уникальность;

- универсальность критериев классификации должна представлять единый набор наименований, принятый всеми специалистами;

– стабильность и гибкость могут быть достигнуты за счет исключения произвольных изменений наименований без изменения самой классификации или перемещения в классификаторе с одного уровня на другой.

Литература

1. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография / Д. В. Капский. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2008. – 243 с.

2. Врубель, Ю. А. Определение потерь в дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2006. – 239 с.

3. Капский, Д. В. Правовые основы транспортной деятельности / Д. В. Капский, О. А. Хотько. – Минск : Вышэйшая школа, 2019. – 317 с.

4. Указ Президента Респ. Беларусь, 28 нояб. 2005г. №551 «О мерах по обеспечению безопасности дорожного движения» // Консультант плюс Беларусь – Минск 2024.

5. Электронный конспект лекций по дисциплине «Контроль технического состояния дорожных транспортных средств» для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения»; сост.: А. М. Ступенев, Д. В. Капский; Белорусский национальный технический университет, кафедра «Организация автомобильных перевозок и дорожного движения». – Минск : БНТУ, 2012.

6. Правила дорожного движения. – Мн.: Аверсэв. – 112 с.

7. Капский, Д. В. Оценка возможности использования троллейбусов и электробусов в Полоцке и Новополоцке / Д. В. Капский, Е. Н. Кот, С. С. Семченков // Организация и безопасность дорожного движения : Матери-

алы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 14 марта 2019 года / Ответственный редактор Д. А. Захаров, ред.: Е. М. Чикишев, И. А. Анисимов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 266–273.

8. Врубель, Ю. А. Оценка ежегодного экологического ущерба городским жителям, наносимого увеличением автомобильных выбросов в населенных пунктах / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, А. В. Коржова // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей / Министерство образования Республики Беларусь; Белорусский национальный технический университет. Выпуск 2. – Минск : Белорусский национальный технический университет, 2020. – С. 66–78.

9. Развитие городского транспорта в городах Полоцке и Новополоцке / Д. В. Капский, А. К. Головнич, Т. В. Вигерина [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 85–97.

10. Капский, Д. В. Некоторые аспекты применения средств персональной (индивидуальной) мобильности: в 2 т. / Д. В. Капский, Е. Н. Кот // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Минск, 25–28 мая 2021 года. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 2. – С. 160–165.

11. Нарбут, А. Транспорт здоровья / А. Нарбут // Моделист-конструктор. – 1984. – № 11. – С. 3–4.

12. Организация велосипедного движения в городах / И. Н. Пугачев, Д. В. Капский, А. С. Луцкович [и др.] ; под общей редакцией Д. В. Капского. – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2020. – 227 с.

SUSHKO A. A., Ph. D. in Eng.,
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 06 September 2024

CLASSIFICATION ISSUES OF VEHICLES PARTICIPATING IN ROAD TRAFFIC

The article considers the terminology and classification features of vehicles participating in road traffic in the Republic of Belarus. It is proposed and substantiated to form a unified classification of vehicles participating in road traffic in our country with the allocation of levels, with common classification features. Proposals are made for the development of classification, which requires the development of its corresponding nomenclature - a system of unambiguous names for all classification groups of vehicles. The problems of creating a nomenclature, which acts as a special scientific task regulated by a special regulatory legal act, are considered. The differences in the nomenclature of vehicles participating in road traffic are formulated. Emphasis is placed on the unambiguity and depth of elaboration of the wording of terms and definitions of vehicles, the establishment of clear, universal (a single set of names accepted by all specialists) criteria for their assignment to a particular level or sublevel within the classification (nomenclature); the uniqueness of each name, which must be the only one and different from others. It has been established that stability and flexibility can be achieved by eliminating arbitrary changes in names without changing the classification itself or moving from one level to another in the classifier.

Keywords: Vehicle, Traffic Regulations, vehicle classification feature, road traffic.

References

1. Kapski, D. V. Prognozirovanie avarijnosti v dorozhnom dvizhenii : monografija / D. V. Kapski. – Minsk : Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet, 2008. – 243 p.
2. Vruble', Ju. A. Opređenje poter' v dorozhnom dvizhenii / Ju. A. Vruble', D. V. Kapski, E. N. Kot. – Minsk : Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet, 2006. – 239 p.
3. Kapski, D. V. Pravovye osnovy transportnoj dejatel'nosti / D. V. Kapski, O. A. Hot'ko. – Minsk : Vyshjeshaja shkola, 2019. – 317 p.
4. Ukaz Prezidenta Resp. Belarus', 28 nojab. 2005. № 551 «O merah po obespečeniju bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija» [Elektronicheskij resurs] // Konsul'tant pljus Belarus'. – Minsk 2024.
5. Jelektronnyj konspekt lekcij po discipline «Kontrol' tehničeskogo sostojanija dorozhnyh transportnyh sredstv» dlja studentov special'nosti 1-44 01 02 «Organizacija dorozhnogo dvizhenija» / sost.: A. M. Stupenev, D. V. Kapski; Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet, Kafedra «Organizacija avtomobil'nyh perevozok i dorozhnogo dvizhenija». – Minsk : BNTU, 2012.
6. Pravila dorozhnogo dvizhenija / Mn. : Aversjev. – 112 p.
7. Kapski, D. V. Ocenka vozmožnosti ispol'zovanija trollejbusov i jelektrobusov v Polocke i Novopolocke / D. V. Kapski, E. N. Kot, S. S. Semčenko // Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija : Materialy III Nacional'noj nauchno-praktičeskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Tjumen', 14 marta 2019 goda / Ed: for D. A. Zaharov, ed.: E. M. Chikishev, I. A. Anisimov. – Tjumen': Tjumenskij industrial'nyj universitet, 2019. – P. 266–273.
8. Vruble', Ju. A. Ocenka ezhegodnogo jekologičeskogo ushherba gorodskim zhiteljam, nanosimogo uveličeniem avtomobil'nyh vybrosov v naselennyh punktah / Ju. A. Vruble', D. V. Kapski, A. V. Korzhova // Transport i transportnye sistemy: konstruirovanie, jekspluatacija, tehnologii : sbornik nauchnyh statej / Ministerstvo obrazovanija Respubliki Belarus'; Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet. Vypusk 2. – Minsk : Belorusskij nacional'nyj tehničeskij universitet, 2020. – P. 66–78.
9. Razvitie gorodskogo transporta v gorodah Polocke i Novopolocke / D. V. Kapski [et al.] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija V. Promyšlennost'. Prikladnye nauki. – 2020. – № 11. – P. 85–97.

10. Kapski, D. V. Nekotorye aspekty primeneniya sredstv personal'noj (individual'noj) mobil'nosti: in 2 vol. / D. V. Kapski, E. N. Kot // Avto-traktorostroenie i avtomobil'nyj transport : Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. In 2 vol., Minsk, 25–28 maja 2021 goda. – Minsk : BNTU, 2021. Vol. 2. – P. 160–165.

11. Narbut, A. Transport zdorov'ja // Modelist-konstruktor / A. Narbut . – 1984. – № 11. – P. 3–4.

12. Organizacija velosipednogo dvizhenija v gorodah / I. N. Pugachev [et al.] ; pod obshej redakciej D. V. Kapskogo. – Habarovsk : Tihookeanskij gosudarstvennyj universitet, 2020. – 227 p.

UDK 656

KHODOSKIN Dmitriy P., Ph. D. in Eng.,
Ass. Prof.,
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

ATAMANENKO Anton S.,
Undergraduate Student,
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Received 10 October 2024

ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE IN REDUCING THE NUMBER OF ACCIDENTS AT REGULATED INTERSECTIONS WITH VULNERABLE ROAD USERS

Pedestrians and cyclists are the most vulnerable road users, especially in urban areas – this is largely due to their high traffic intensity during morning and evening rush hours, as well as significant differences between these users and vehicles. These differences are related to both the degree of protection and speed characteristics. Comparison of these factors largely explains the increased number of injured and killed in accidents involving vulnerable road users. Therefore, the movement of these users should be “separated” from the movement of vehicles both by separating them in space and in time. Separation in space is based on the use of appropriate technical means that respectively separate the “zones” of their movement (barriers of various designs, etc.), and separation in time is based on the use of traffic light regulation, namely, for example, the organization of a separate pedestrian phase in the structure of the regulation cycle. This article is devoted to the consideration of the application of such approaches abroad (with the identification of the specific share of the reduction in the number of road accidents when they are applied).

Keywords: road accident, vulnerable participants, pedestrians, pedestrian crossings, safety islands, road markings.

Introduction

Every year, more than 270 000 pedestrians are killed on the world's roads. Worldwide, pedestrians account for approximately 22 % of all road traffic fatalities, and in some countries, up to two-thirds of these deaths. In addition, millions of pedestrians are injured and disabled in road traffic accidents. These situations cause great suffering and grief, and even result in both

economic hardship for families and heavy losses of all kinds for nations [1]. Although many countries have made significant improvements in road safety in recent decades, further improvements in safety are becoming increasingly difficult. Overall, the ability to improve pedestrian safety is a key component of efforts to prevent road traffic injuries. Pedestrian collisions, like other types of road traffic accidents, should not be con-

sidered a necessary evil. Because the collisions are, in fact, predictable and preventable. The main risks to pedestrians are well known and include many factors. Driver behavior is primarily associated with speeding and drunk driving. The level of development of pedestrian infrastructure, taking into account the absence of sidewalks, intersections and overhead boundaries, and the design of the vehicle – the presence of a rigid front part that does not cushion the force of the impact when hitting a pedestrian [2].

Reducing or eliminating risk factors affecting pedestrians is an important and achievable goal of any policy, including ours. Pedestrian safety measures improve pedestrian spaces and contribute to the regeneration of the urban environment, the development of local economies, social cohesion, improved air quality and the reduction of negative impacts of road noise. The implementation of measures to improve pedestrian safety requires increased attention and informed decision-making by governments, industry, non-governmental organizations and international organizations.

Main part

Improving the conditions of motor transport in modern cities requires the use of a whole range of architectural, planning and technical measures. While the implementation of road, architectural and planning measures requires, in addition to significant capital investments, a fairly long period of time, measures to organize road traffic can provide a quick effect, and in some cases act as the only means of solving transport problems. Below, we will consider some of the indicated measures in more detail using examples.

Reducing accidents at pedestrian crossings using artificial structures. Safety islands. Safety islands (fig. 1) are small buffer zones for pedestrians in the middle of the roadway, marked out with markings and built in the form of a platform. Such structures are good for many reasons. Firstly, they allow people to cross the road in stages: cross one side, stop in a special place, make sure it is safe to cross, and then calmly continue crossing. Secondly, such islands attract the attention of drivers and narrow the roadway, forcing motorists to reduce speed to avoid hitting the curb.

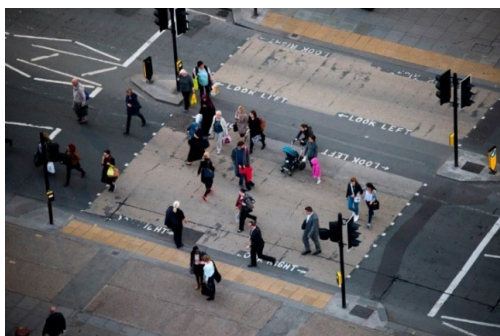


Figure 1 – Pedestrian crossing with a safety island in London [2]

Obviously, such islands are especially needed to “divide” wide streets, but, oddly enough, in some cities they are even installed on two-lane streets (fig. 2). If you think about it, there is logic here too. For example, a pedestrian often decides to cross the road when there is a traffic jam on the first lane. At the same time, the parked cars block the person’s view of the oncoming lane, which may not be congested. As a result, a person risks simply not noticing a car moving in the oncoming lane.

The safety island also reduces the turning radius of cars – which forces drivers to slow down (fig. 3).

Some widening of the sidewalk in the area of the pedestrian crossing also has a positive effect on safety: the zebra crossing itself becomes narrower (i. e. people have to cover a shorter distance), and conditions are created for drivers that force them to be more attentive and reduce their speed (fig. 4).



Figure 2 – Pedestrian crossing with a safety island in the UK [2]

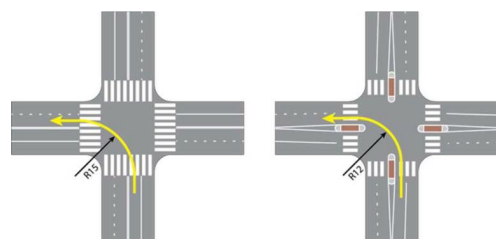


Figure 3 – Pedestrian crossing with a safety island [3]

Pedestrian barriers. Statistics show that on streets with modern barriers, the number of accidents with pedestrian injuries is 24 % lower. Pedestrian barriers should be installed in places with active traffic of vehicles and pedestrians, in places where cars are parked near supermarkets, factories, warehouses, etc. [4]. Correct installation of pedestrian barriers separates the movement of pedestrians (including cyclists) from the movement of various types of vehicles (fig. 5). Installed barriers direct pedestrian traffic to nearby intersections with excellent visibility of the road and the absence of potential obstacles on it. In addition, pedestrian barriers eliminate the possibility of parking cars on sidewalks (fig. 6).

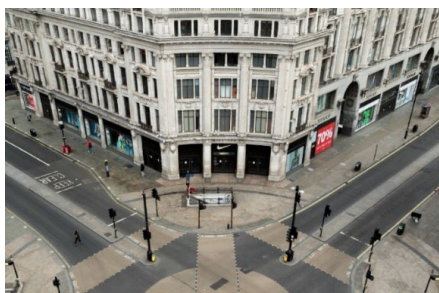


Figure 4 – Intersection with widened sidewalks and safety islands in London [3]

Reducing accidents at pedestrian crossings using various types of road markings. Luminescent road markings (fig. 7). Luminescent markings in Nantes (France) help drivers to recognize them better at night (including at a greater distance) [5].

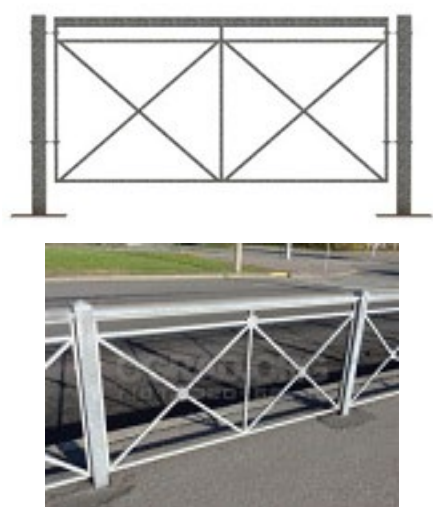


Figure 5 – Pedestrian barriers [4]



Figure 6 – Pedestrian barriers in London [4]

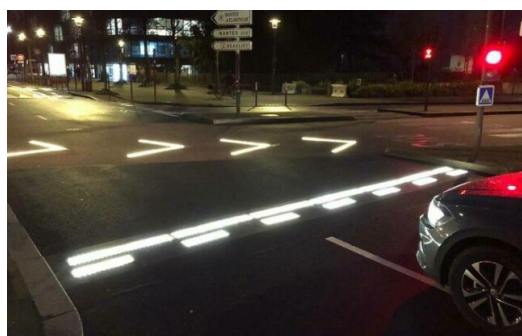


Figure 7 – Luminous road markings in France [5]

Longitudinal and transverse noise markings (fig. 8). In many European countries, longitudinal noise (vibrating) markings are widely used, which warn the driver of the approach or crossing of a dangerous section. They are used on motorways (or before the first intersections in cities) to notify drivers of an unintentional departure of a car from the lane. They help drivers to keep to the lane and reduce the risk of conflict situations.

This method of organizing traffic serves to attract additional attention of drivers in places on roads (streets) near pedestrian crossings, forcing them to slow down when approaching a crossing with the corresponding road markings.



Figure 8 – Installation of noise strips before a pedestrian crossing [6]

Noise strips are often placed not only before pedestrian crossings, their application is also effective in places before dangerous, accident zones. The main task of the noise strip is to wake up sleepy drivers or attract the attention of distracted ones [7].

Projection road markings on pedestrian crossings. Projection road markings have begun to appear on pedestrian crossings in Moscow and other cities, which illuminate a section of the road at night. LED projectors with color filters create a bright light corridor on the road, thanks to which drivers can see pedestrians on a poorly lit roadway at a sufficient distance to take the necessary actions. To do this, stands with LED projectors are installed above the roadway near the pedestrian crossing. A lighted crossing is created that “duplicates” the zebra crossing and illuminates the person, making him more visible. Thus, the driver sees the pedestrian and the markings at a distance of 100–150 m, even if there are puddles or snow on the road. Such markings can be useful at pedestrian crossings where there is an increased number of accidents. Or in places where additional caution is required – on the streets, for example, near schools (fig. 9).



Figure 9 – Projection road markings on pedestrian crossings [8]

Reducing accidents at pedestrian crossings by separating traffic and pedestrian flows in time. Often, at regulated pedestrian crossings, pedestrians cross the road simultaneously with moving (turning) vehicles. In this case, conditionally acceptable conflicts arise between turning vehicles and pedestrians. That is, there is a risk of an accident involving turning vehicles and pedestrians. In this case, organizing a separate pedestrian phase reduces the number of such conflict situations, and as a consequence – accidents. In addition, it becomes possible to organize a diagonal pedestrian crossing, where pedestrians have an additional opportunity to cross the intersection diagonally. However, this increases the duration of the pedestrian phase due to the increase in the length of the pedestrian crossing, but at the same time this solution increases the convenience for pedestrians crossing diagonally. In Germany, diagonal pedestrian crossings are equipped with additional pedestrian traffic lights and diagonal road markings (fig. 10).



Figure 10 – Intersection with a separate pedestrian phase in Germany [9]

The three-phase traffic light mode for providing a separate pedestrian phase increases the waiting time for a green light for both vehicles and pedestrians. Traffic safety in this case also depends on pedestrians observing the prohibiting traffic light signal, i. e. with a long wait for a green light, there is a high risk of an accident when a pedestrian crosses the roadway on a red light. However, as practice shows, this measure is very effective, especially at intersections with high pedestrian traffic intensity. A separate pedestrian phase in most cases allows for a higher level of road safety for pedestrians compared to the standard regulation scheme. According to observations, after the introduction of a separate pedestrian phase, several months are required for pedestrians to adapt to the new conditions.

In case of high traffic intensity at the intersection, separate pedestrian phases may be arranged only as a last resort to reduce accidents with vulnerable road users (after using all other measures in the standard traffic light scheme). When choosing a traffic light regulation program, in addition to other implemented measures, statistics on accidents involving pedestrians and turning vehicles for at least the last 3 years must be taken into account.

Thus, in order to reduce the number of conflicts, and accordingly, accidents, involving pedestrians and turning vehicles, separate pedestrian phases can be a very effective measure. However, it is necessary to carefully adhere to the conditions (during design and installation), under which pedestrians will not enter the roadway at a red light.

Conclusion

Thus, the most effective measures aimed at improving the traffic safety of vulnerable participants, with a brief description, are given in table 1.

Table 1 – Measures aimed at improving the traffic safety of vulnerable road users

№	Name	Description	Country	Efficiency
1	Safety islands	Allow pedestrians to cross the roadway in stages: cross one side, stop in a special place, make sure it is safe to cross, and then calmly finish crossing, also attract the attention of drivers and narrow the roadway, forcing motorists to slow down	UK, Germany, Poland	Reduction in pedestrian accidents by 45 %
2	Pedestrian barriers	Separate pedestrians and cyclists, including from large vehicles, direct pedestrians to nearby intersections with excellent visibility and without potential obstructions	United Kingdom	Reduction in pedestrian accidents by 24 %
3	Isolation of the pedestrian phase	Allows complete elimination of conflict between vehicles and pedestrians, thereby minimizing the likelihood of accidents	Germany, France	Reduction of accidents with pedestrians by 87 %

The above-mentioned measures, the implementation of which yields positive results in increasing the level of safety for pedestrians, are no less useful for other road users (except for vulnerable ones) [2]:

- the installation of median strips at different levels with the roadway on streets with multi-lane traffic reduces the number of accidents not only involving pedestrians, but also head-on collisions of vehicles (when driving into the oncoming traffic lane);

- the installation of acceleration and deceleration lanes reduces the number of accidents involving pedestrians moving along the shoulder, as well as the number of accidents involving vehicles whose drivers lost control or collided with stationary objects;

- the use of a separate phase for vehicles turning left at regulated intersections, which reduces the number of accidents – both involving pedestrians and involving vehicles moving in the transit direction, etc.

References

1. Pedestrian Safety : [website]. – URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/79753/9789244505359_rus.pdf?sequence=10 (access date: 22.04.2024).

2. Pedestrian crossings for people (and how they are made in other countries) : [website]. – URL: <https://dzen.ru/a/YRU3X5Rdqa8aOvb> (access date: 22.04.2024).

3. How to make city roads safe for pedestrians? European experience : [website]. – URL: <https://euro-pulse.ru/eurotrend/kak-sdelat-gorodskie-dorogi-bezопасnymi-dlya-peshe-hoda-opyit-evropyi/> (access date: 22.04.2024).

4. Pedestrian crossings arrangement : [website]. URL: <https://www.kb-spectech.ru/projects8.html>. – (access date: 22.04.2024).

5. Berlin pillow :[website]. – URL: <https://zen.ati.su/news/2020/12/24/berlinskie-ati.su/news/2020/12/24/berlinskie-podushki-lezhachie-politsejskie-kotoryenestrashny-dalnobojschikam-805237/> (access date: 22.04.2024).

6. Kapski, D. V. Implementation of the methodology for improving road safety in urban accident hotspots / D. V. Kapski, A. I. Ryabchinskiy. – Minsk : BNTU, 2013. – 8 p.

7. Ideas that make traffic on roads safe and convenient, which have been implemented in different countries : [website]. – URL: <https://bugaga.ru/interesting/1146785920-krutye-idei-delajushchie-dvizhenie-na-dorogah-be-zopasnym-i-udobnym.html> (access date: 22.04.2024).

8. Methods for reducing collisions with pedestrians in the urban environment : [website]. – URL: [metody_snizheniya_naездov_peshehodov_gorodskoy_](https://metody_snizheniya_naездov_peshehodov_gorodskoy/) (access date: 22.04.2024).

9. Advanced stop line : [website]. – URL: <https://alex-maisky.livejournal.com/10221.html> (access date: 25.04.2024).

10. Kapski, D. V. Prediction of Accident Rate in Road Traffic: monograph / D. V. Kapski // Minsk : BNTU, 2008. – 243 p. + incl.

11. Kapski, D. V. The method of the conflict zones forecasting road traffic accident rate by potential danger: a monograph / D. V. Kapski // Moscow: New Knowledge, 2015. – 372 p.

12. Kapski, D. V. Methodology of improving the quality of road traffic traffic / D. V. Kapski // Minsk : BNTU, 2018. – 372 p.

ХОДОСКИН Д. П., канд. техн. наук,
доцент,
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

АТАМАНЕНКО А. С.,
магистрант
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПО СНИЖЕНИЮ ЧИСЛА ДТП НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ С УЯЗВИМЫМИ УЧАСТНИКАМИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20.09.2024

Пешиеходы и велосипедисты являются наиболее уязвимыми участниками дорожного движения, особенно при движении в условиях города – это в большей степени связано с их высокой интенсивностью движения в утренний и вечерний часы-пик, а также с существенными различиями между этими участниками и транспортными средствами. Эти различия связаны как со степенью защищенности, так и со скоростными характеристиками. Сравнение указанных факторов в большей степени и объясняет повышенное число раненых и погибших в ДТП с участием уязвимых участников движения. Поэтому движение этих участников должно быть «отделено» от движения транспортных средств как с помощью разделения их в пространстве, так и во времени. Разделение в пространстве основывается на применении соответствующих технических средств, соответственно разделяющих «зоны» их движения (ограждений различной конструкции и т. п.), а разделение во времени – на применении светофорного регулирования, а именно, к примеру, организации отдельной пешеходной фазы в структуре цикла регулирования. Данная статья посвящена рассмотрению применения таких подходов за рубежом (с выявлением конкретной доли снижения числа ДТП при их применении).

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, уязвимые участники, пешеходы, пешеходные переходы, островки безопасности, дорожная разметка.

Литература

1. Безопасность пешеходов : [сайт]. – URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/79753/9789244505359_rus.pdf?sequence=10. – (дата обращения: 22.04.2024).

2. Пешеходные переходы для людей (и как их делают в других странах) : [сайт]. – URL: <https://dzen.ru/a/YRU3X5Rdqga8aOvb>. (дата обращения: 22.04.2024).

3. Как сделать городские дороги безопасными для пешехода? Опыт Европы : [сайт]. – URL: <https://euro-pulse.ru/eurotrend/kak-sdelat-gorodskie-dorogi-bezopasnyimi-dlya-peshehoda-opyit-evropyi/> (дата обращения: 22.04.2024).

4. Обустройство пешеходных переходов : [сайт]. – URL: <https://www.kb-spectech.ru/projects8.html> (дата обращения: 22.04.2024).

5. Берлинская подушка : [сайт]. – URL: <https://zen.ati.su/news/2020/12/24/berlinskie-podushki-lezhachie-politsejskiekotoryenestrashnydalnobojschikam-805237> (дата обращения: 22.04.2024).

6. Капский, Д. В. Внедрение методологии повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности / Д. В. Капский, А. И. Рябчинский. – Минск: БНТУ, 2013. – 8 с.

7. Идеи, делающие движение на дорогах безопасным и удобным, которые реализованы в разных странах : [сайт]. – URL: <https://bugaga.ru/interesting/1146785920-krutyeyidei-delajuschiedvizhenie-na-dorogah-bezopasnym-i-udobnym.html> (дата обращения: 22.04.2024).

8. Методы снижения наездов на пешеходов в городской среде : [сайт]. – URL: metody_snizheniya_paezdov_peshehodov_gorodskoy_ (дата обращения: 22.04.2024).

9. Advanced stop line : [сайт]. – URL: <https://alex-maisky.livejournal.com/10221.html> (дата доступа: 25.04.2024).

10. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография / Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.

11. Капский, Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирование дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности: монография / Д. В. Капский // М. : Новое знание, 2015. – 372 с.

12. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения/ Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.

УДК 625.76.08

БЕЛЕНИНИК А. И.,

аспирант,

E-mail: gpa_atf@bntu.by

КЛОКОВ Д. В. канд. техн. наук, доц.,

доц. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

E-mail: klokov_dm@mail.ru

ЗАХАРОВ А. В., канд. техн. наук, доц.,

зав. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

E-mail: gpa_atf@bntu.by

ЕРМИЛОВ С. В.,

ст. преп. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

E-mail: ermilov.tut@gmail.com

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20.09.2024

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРООБЪЕМНОГО РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье рассматривается подход к математическому моделированию гидрообъемного рулевого управления (ГОРУ) универсальной мобильной машины. Анализируются принципы работы ГОРУ, с акцентом на его два основных компонента: механическую и гидравлическую части. В работе приводится математическое описание, охватывающее управление колесами машины и их углы поворота, которые определяют устойчивость и маневренность. Разработанная математическая модель позволяет рассчитывать зависимости между углами поворота правого и левого колеса. Выведенные дифференциальные уравнения, описывают динамику и взаимодействие основных компонентов. Уравнения учитывают влияние различных факторов, включая вязкость рабочей жидкости, сопротивление трубопроводов и эластичность шин, что позволяет точно спрогнозировать поведение машины. Важной особенностью является интеграция об-

ратной связи, адаптирующей работу системы к изменениям внешних условий и нагрузок. Основной целью исследования является создание модели для анализа и прогнозирования устойчивости ГОРУ в различных эксплуатационных условиях. Моделирование и расчеты показывают высокую степень соответствия с реальными данными, что подтверждает точность разработанной модели и ее пригодность для последующих инженерных улучшений. Результаты имеют практическое значение для повышения маневренности, надежности и безопасности универсальных мобильных машин, делая предложенную методику полезной для разработки современных систем рулевого управления.

Ключевые слова: Гидрообъемное рулевое управление, трактора, математическое моделирование, устойчивость, кинематика, динамические характеристики.

Введение

Гидрообъемное рулевое управление (ГОРУ) является одной из ключевых систем современных универсальных мобильных машин, обеспечивающей точное и надежное управление в различных эксплуатационных условиях. Развитие данной системы обусловлено требованиями к повышению маневренности, устойчивости и общей эффективности универсальных мобильных машин, что имеет важнейшее значение в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности.

Основной принцип работы ГОРУ заключается в использовании гидравлической энергии для приведения в движение рулевого механизма. Такая система состоит из насоса, гидроцилиндров, распределителя и других компонентов, которые обеспечивают передачу и преобразование энергии для создания усилия на рулевых колесах. Гидрообъемные системы позволяют достичь высокой точности и плавности управления, что особенно важно при выполнении сложных маневров и работе с тяжелыми нагрузками.

Важным преимуществом ГОРУ является его способность обеспечивать стабильную работу при различных нагрузках и скоростях. Это достигается за счет использования гидравлической жидкости, которая передает усилие с минимальными потерями и позволяет быстро реагировать на изменения направления движения. Тем не менее, гидрообъемные рулевые системы также сталкиваются с рядом технических вызовов. Среди них можно выделить необходимость обеспечения высокой надежности и долговечности компонентов, минимизации потерь энергии и повышения общей эффективности системы. Особое внимание уделяется динамическим характеристикам системы, таким как частотный отклик и точность

отслеживания, которые определяют способность трактора быстро и точно реагировать на команды оператора.

Особенности конструкции рулевого механизма универсальной мобильной машины

Современные универсальные мобильные машины требуют высоких показателей маневренности и устойчивости для обеспечения безопасности и эффективного управления. Одним из решений для достижения баланса между маневренностью на низких скоростях и устойчивостью на высоких является управление на передней оси [1].

В универсальных мобильных машинах используют трапецевидный рулевой механизм с двойным приводом, который обеспечивает необходимую мощность для управления с большими нагрузками. Для обеспечения достаточной мощности привода и точности регулировки в таких системах применяются гидрообъемные системы управления [4].

Трапецевидный рулевой механизм с двойным приводом, используемый в универсальных мобильных машинах, представлен на рис. 1. Двойной привод предоставляет преимущество в виде увеличенной мощности, что является критически важным для управления мобильной машиной с высокой нагрузкой на оси. В связи с этим ГОРУ обеспечивают необходимую мощность привода и повышают общую производительность и надежность управления [1].

При нейтральном положении руля золотник и гильза удерживаются в нейтральной позиции пружинами. Жидкость от насоса поступает в полость насоса-дозатора, проходит через каналы между гильзой и золотником и сливается, при этом цилиндры закрыты [2].

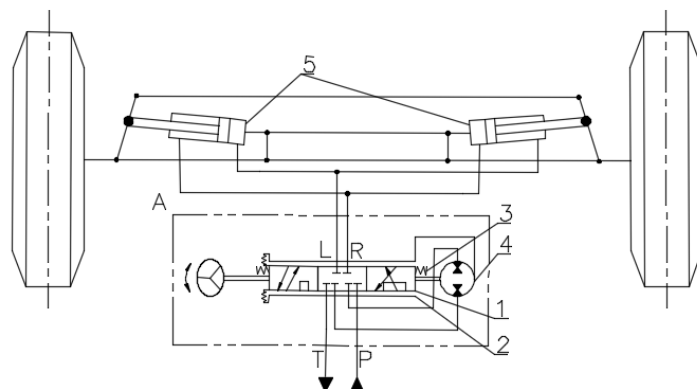


Рисунок 1 – Схема ГОРУ [9]:

A – насос-дозатор; P – нагнетательная полость; T – сливная полость; R – цилиндрическая полость правого поворота; L – цилиндрическая полость левого поворота; 1 – золотник; 2 – гильза; 3 – центровочные пружины; 4 – героторный дозирующий узел; 5 – цилиндры

При повороте рулевым колесом золотник смещается относительно гильзы, и рабочая жидкость от насоса направляется в соответствующие полости дозатора и гидроцилиндра при этом другая полость гидроцилиндра соединяется со сливом. При прекращении вращения рулевого колеса гильза догоняет золотник и под воздействием центрирующих пружин устанавливается в нейтральное положение, нагнетательная магистраль через золотник и гильзу сообщается со сливной магистралью, а цилиндрические полости перекрываются, поворот колес прекращается [3].

Математическая модель

Для более четкого понимания системы рулевого управления можно создать математическую модель, включающую механическую и гидравлическую часть управления.

Схема, представлена на рис. 2, представляет собой модель передней оси универсальной мобильной машины с управляемыми колесами. Управляемая передняя ось играет ключевую роль в траектории движения мобильной машины, так как угол поворота колес напрямую влияет на радиус поворота и устойчивость.

Основой управления является трапецевидная система поворота колес, которые обеспечивают изменение направления движения мобильной машины. Углы задаются рулевым механизмом и зависят от множества факторов, таких как скорость, радиус поворота и геометрические параметры мобильной машины [1].

В представленной схеме показаны зависимости между углами поворота колес и геометрическими параметрами машины, что позволяет рассчитать необходимые углы для заданного радиуса поворота, обеспечивая оптимальное управление мобильной машиной.

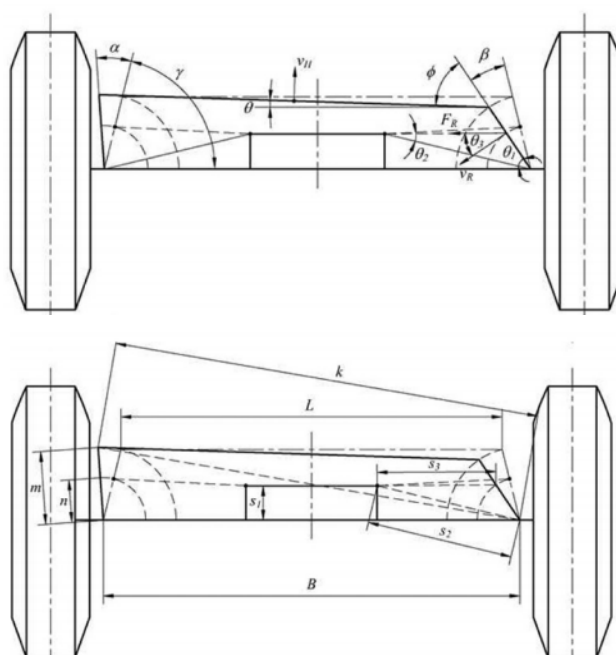


Рисунок 2 – Механическая модель ГОРУ

Для описания кинематики определим угол поворота левого колеса вокруг шкворня как α , а правого – как β . Рассмотрим длины сторон треугольника, обозначив их как k , m и L , при этом α будет углом между сторонами k и m . Применяв закон косинусов, можем записать следующее уравнение:

$$L^2 = k^2 + m^2 - 2 \cdot k \cdot m \cdot \cos(\alpha). \quad (1)$$

Данный рулевой механизм обладает одной степенью свободы, и существует определенная зависимость между α и β из-за тяги между левым и правым колесом, которая описывается закон синусов:

$$\frac{\sin(\alpha)}{L} = \frac{\sin(\gamma)}{k} = \frac{\sin(\beta)}{m}. \quad (2)$$

Преобразовав уравнения (1) и (2) и, выразив угол поворота α , получим уравнение для расчета:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{k^2 + m^2 - L^2}{2 \cdot k \cdot m}\right) + \arcsin\left(\frac{m \cdot \sin(\gamma - \beta)}{k}\right) - \gamma, \quad (3)$$

где B – расстояние между двумя шкворнями в одиночной оси;

L – длина тяги;

m – длина рычага рулевого механизма рычага;

n – расстояние между местом действия рулевого цилиндра и шкворнем;

γ – угол пересечения между рычагом рулевого кулака и балкой оси;

k – расчетное положения поворотного кулака.

Чтобы найти расчетное положения поворотного кулака k используем закон косинусов для треугольника k , m , B , а угол между этими сторонами $\varphi = \gamma - \beta$ и выразив k получим:

$$k = \sqrt{B^2 + m^2 - 2 \cdot B \cdot m \cdot \cos(\gamma - \beta)}. \quad (4)$$

В соответствии с рулевым механизмом, показанным на рис. 1, динамику можно упростить до трех частей. Первое движение – это вращательное движение левого узла, включающего левую шину, левую ступицу, левый рулевой кулак и левый рычаг кулака, в то время как второе движение – это вращательное движение правого кулака в сборе, включая правую шину, правую ступицу, правый рулевой наконечник и правый рычаг. Третье движение – это движение

рулевой тяги, которое можно разложить на поступательное движение и вращение вокруг центра тяжести [1].

Динамическое уравнение системы можно установить по уравнению Лагранжа для колебательной системы с затуханием. И кинетическая энергия системы может быть выражена следующим образом:

$$T = \frac{1}{2} \cdot J_L \cdot \dot{\alpha}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_R \cdot \dot{\beta}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_H \cdot \dot{\theta}_H^2, \quad (5)$$

где J_L, J_R – момент инерции при вращении с рулевым узлом вокруг левого и правого шкворней соответственно;

m_H – масса рулевой тяги;

θ_H – угол между рулевой тягой и горизонтальной линией.

v_H – скорость центра тяжести рулевой тяги;

Из механической схемы, показанной на рисунке 2, можно найти v_H – скорость центра тяжести рулевой тяги:

$$v_H = \sqrt{(\dot{\beta} \cdot m \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2} \cdot \dot{\theta}_H \cdot L)^2 + (\dot{\beta} \cdot m \cdot \sin \varphi)^2}, \quad (6)$$

где $\varphi = \gamma - \beta - \theta_H$, а θ_H можно вычислить следующим образом:

$$\theta_H = \frac{\arcsin(m \cdot \sin(\gamma + \alpha) - m \cdot \sin(\gamma - \beta))}{L}. \quad (7)$$

Потенциальная энергия системы показывает упругую энергию шин и других механизмов, и U можно упростить следующим образом:

$$U = \frac{1}{2} \cdot K_L \cdot \alpha^2 + \frac{1}{2} \cdot K_R \cdot \beta^2, \quad (8)$$

где K_L и K_R соответственно обозначают эквивалентную жесткость левых и правых шин и других механизмов.

Гидравлическая модель передней оси, представленная на рис. 3, основана на передаче энергии потока рабочей жидкости под давлением. Управление потоком осуществляется с помощью регулируемого дросселя, который регулирует давление и скорость движения рабочей жидкости в системе. В результате этого рабочая жидкость под давлением перемещается по трубопроводу и воздействует на поршень гидроцилиндра. Скорость перемещения рабочей жидкости в трубопроводе так же от сопротивления трубопроводов. Под воздействием давле-

ния на активную площадь поршня создается усилие, которое приводит его в движение, выполняя механическую работу. При этом обратная связь контролирует положение и перемещение поршня, корректируя управляющий сигнал для обеспечения стабильной и точной работы. Это позволяет гидравлическому приводу адаптироваться к изменениям нагрузки или внешним условиям, поддерживая высокую точность и эффективность.

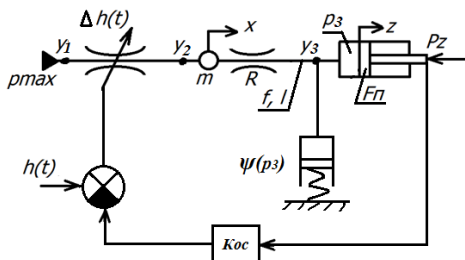


Рисунок 3 – Динамическая схема ГОРУ универсальной мобильной машины:

p_{max} – давление настройки клапана; m – приведенная масса жидкости; R – активное сопротивление трубопровода; l, f – длина и площадь трубопровода; X, Z – перемещение столба жидкости и поршня; F_{Π} – активная площадь поршня; $\psi(p_3)$ – коэффициент податливости; p_z – полезная нагрузка; $h(t)$ – перемещение золотника распределителя; K_{oc} – коэффициент обратной связи

Для разработки математической модели примем рядом допущений в расчетной схеме, которые упрощают переход от реальной системы к ее расчетной форме. Рассматривается гидропривод с жесткой механической отрицательной обратной связью. Сопротивление в сливной полости и трение в гидроцилиндре не учиты-

ваются. Свойства жидкости предполагаются неизменными в течение переходного процесса, а жидкость в напорной линии считается сжимаемой, с концентрацией в узле возле гидроцилиндра. Давление на входе остается постоянным и соответствует настройке предохранительного клапана. Каналы распределителя моделируются дросселем переменного сечения, где величина окна зависит от перемещения золотника и поршня с учетом обратной связи.

Для математического расчета схемы выбираются наиболее характерные участки в качестве узлов: Y_1 – Y_2 – моделирование напорной линии распределителя, а Y_2 – Y_3 – моделирование трубопровода. Входное воздействие моделируется изменением проходного сечения окна распределителя $h(t)$ с использованием закона изменения полезной нагрузки и полинома Чебышева, что позволит составить три группы уравнений [6]:

- уравнения баланса мгновенных объемных расходов в узловых точках расчетной схемы;
- дифференциальные уравнения движения подвижных элементов гидропривода под действием приложенных сил и моментов;
- дифференциальные уравнения движения рабочей жидкости в элементах гидропривода.

Таким образом, итоговое выражение, описывающее работу динамической модели ГОРУ универсальной мобильной машины, будет представлять собой систему однородных дифференциальных уравнений, включающую три уравнения:

$$\begin{cases} m_{\Pi} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = F_{\Pi} \cdot p_3 - P_{тр} - K_B \cdot \frac{dz}{dt} - P_z - c_1 \cdot z, \\ a_1 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = p_{max} - p_3 - \left[\frac{a_{10}}{(h(z) - K_{oc} \cdot Z)^2} \cdot \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + a_2 \cdot \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \right] - a_3 \cdot \frac{dx}{dt}, \\ \frac{dp_3}{dt} = \frac{f \cdot \frac{dx}{dt} - F_{\Pi} \cdot \frac{dz}{dt}}{l \cdot f + F_{\Pi} \cdot (z_0 + z)} \cdot (E_{a0} + a_p \cdot p_2). \end{cases} \quad (9)$$

где P_2, P_3 – давление в узлах Y_2, Y_3 ;

$P_{тр}$ – сила сухого трения;

P_B – сила вязкого трения;

K_B – коэффициент вязкого трения.

Z_0 – расстояние между поршнем и крышкой в начальном положении;

E_{a0} – базовый модуль упругости;

a_p – коэффициент, учитывающий влияние давления на модуль упругости.

Для упрощения уравнения введем коэффициенты a_1, a_2, a_3, a_{10} :

$$a_1 = \rho \cdot l. \quad (10)$$

$$a_2 = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho + 0,443 \cdot \frac{\kappa_{\xi} \cdot \rho \cdot l}{\sqrt{f}}. \quad (11)$$

$$a_3 = 27,5 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot l}{f}. \quad (12)$$

$$a_{10} = \frac{0,5 \cdot \rho \cdot f^2}{(\mu_p \cdot \pi \cdot D_3)^2}, \quad (13)$$

где ρ , ν – плотность и кинематическая вязкость жидкости соответственно;

K_ξ – коэффициент, зависящий от относительной шероховатости внутренней стенки трубопровода;

ξ – коэффициент местного сопротивления.

D_3 – диаметр золотника;

μ_p – коэффициент расхода распределителя.

Для построения графика на основе результатов расчета интегральных уравнений были использованы следующие исходные данные [11]: входное воздействие $h = 2$ мм; площадь поршня $F_{II} = 3115,6$ мм²; сопротивление движению $P_Z = 114$ кН; максимальное давление настройки предохранительного клапана $P_{max} = 16,5$ МПа;

площадь трубопровода $f = 314$ мм²; длина трубопровода $l = 3$ м; плотность рабочей жидкости $\rho = 890$ кг/м³; кинематическая вязкость $\nu = 30$ мм²/с; базовый адиабатический модуль упругости $E_{a0} = 1,8 \cdot 10^9$ Па; коэффициент расхода распределителя $\mu_p = 0,65$; коэффициент податливости $\psi(p_3) = 0,01$ МПа; коэффициент обратной связи $K_{OC} = 0,01$; коэффициент, учитывающий влияние давления, $a_p = 10$; сила сухого трения $P_{тр} = 30$ Н; коэффициент вязкого трения $K_v = 0,1$ Н·с/м; и начальное перемещение поршня $Z_0 = 0$ мм.

По результатам расчета дифференциального уравнения (9) построим график зависимостей динамики изменения основных характеристик в ГОРУ рис. 4. Это позволит наглядно проанализировать поведение системы и оценить влияние каждого из параметров на общую динамику работы.

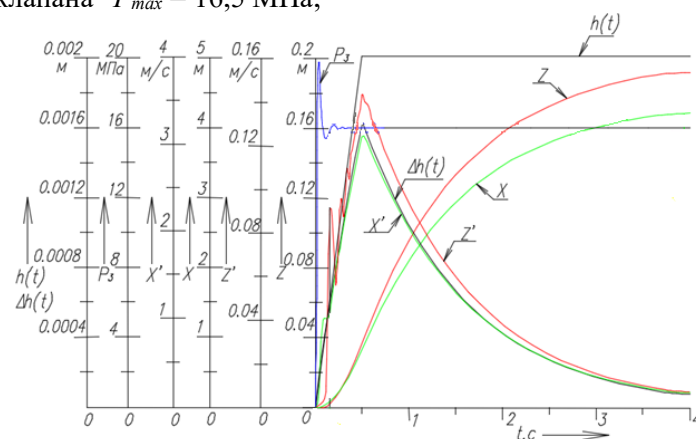


Рисунок 4 – Динамика изменения основных характеристик в ГОРУ

Как показано на рис. 4, давление в узле $У_2$ (рис. 3) начинает быстро расти, что связано конструкцией пары золотник-гильза в насосе-дозаторе. Поскольку золотник в насосе-дозаторе имеет открытый центр, рабочая жидкость, поступающая на вход, через золотник направляется на слив. Это вызывает небольшой пик давления при повороте золотника. Максимальное давление достигается в момент времени 0,01 с что указывает на быстроедействие системы. Второй пик давления ($t = 0,25$ с) обусловлен сжимаемостью рабочей жидкости.

Полученные на графике результаты демонстрируют высокую степень соответствия с реальными условиями эксплуатации ГОРУ универсальной мобильной машины. Это подтверждает корректность проведенных расчетов и примененных методов моделирования, что делает предложенный подход пригодным для дальнейшего использования.

Заключение

В данной работе был проведен математический анализ ГОРУ универсальной мобильной машины. Представленные математические модели и динамические уравнения позволяют глубже понять поведение рулевых механизмов и их взаимодействие с гидравлической системой. Результаты исследования предоставляют ценные данные для дальнейшего совершенствования конструкций и повышения надежности и эффективности ГОРУ. Будущие исследования в этой области могут быть направлены на разработку новых технологий и решений, способных улучшить производительность и безопасность движения универсальной мобильной машины.

Литература

1. Абе, М. Динамика управления автомобилем: Теория и применение / Масато Абе, Сато-

ру Йошида, Хидеки Накано ; пер. с англ. В. В. Смирнов. – СПб. : Наука, 2010. – 512 с.

2. Бережной, В. И. Гидравлические системы мобильной техники / В. И. Бережной, П. А. Петров. – М. : Машиностроение, 2003. – 456 с.

3. Зимин, Н. В. Гидроприводы и гидравлические машины / Н. В. Зимин, Ю. А. Кузнецов. – СПб. : Политехника, 2001. – 312 с.

4. Карпов, И. М. Гидрообъемные приводы / И. М. Карпов. – М. : Высшая школа, 2002. – 284 с.

5. Малинин, А. С. Основы гидравлики / А. С. Малинин. – М. : Энергия, 2002. – 375 с.

6. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

7. Фролов, К. В. Гидравлические системы автоматизации / К. В. Фролов. – СПб. : Питер, 2004. – 410 с.

8. Жданов, А. В. Обоснование основных конструктивных параметров гидравлических рулевых механизмов строительных и дорожных машин с шарнирно-сочлененной рамой : дис. канд. тех. наук : 05.05.04: защищена 14.12.07 : утв. 15.02.08 / А. В. Жданов. – Омск., 2007. – 239 с.

9. Жданов, А. В. Выбор основных конструктивных параметров гидрораспределителя при проектировании объемных гидроприводов рулевого управления / Ш. К. Мукушев, А. В. Жданов // Омский научный вестник. – 2006. – № 8(44). – С. 87–90.

10. Обзор насос-дозатора для МТЗ от FENOX (Беларусь) : [сайт]. – URL: <https://fenoxagro.com/tpost/kcrxug69o1-obzor-nasos-dozatora-dlya-mtz-ot-fenox-b> (дата обращения: 21.07.2024).

11. Руководства по эксплуатации БЕЛАРУС-3522 : [сайт]. – URL: <http://old.mtz.by/service/operation-manual/>. – Дата обращения: 22.07.2024).

UDK 625.76.08

BELIANINIK A.

Graduate Student,

E-mail: gpa_atf@bntu.by

KLOKOV Dmitry V., Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

Ass. Prof. of the department «Hydropneumodynamics and hydropneumo drive»,

E-mail: klokov_dm@mail.ru

A. ZAHAROV Alexander V., Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

Head of the department «Hydropneumodynamics and hydropneumo drive»,

E-mail: gpa_atf@bntu.by

YERMILOV Sergei V.,

Senior Lecturer of the department «Hydropneumodynamics and hydropneumo drive»

E-mail: ermilov.tut@gmail.com

Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Received 20 September 2024

MATHEMATICAL MODELING OF HYDRAULIC STEERING CONTROL OF A UNIVERSAL MOBILE CAR

The article discusses an approach to mathematical modeling of the hydrostatic power steering (HPS) of a universal mobile machine. It analyzes the operational principles of the HPS, with a focus on its two main components: the mechanical and hydraulic parts. The study provides a mathematical description covering wheel control and their turning angles, which are key determinants of stability and maneuverability.

bility. The developed mathematical model enables calculations of the relationships between the turning angles of the right and left wheels. The derived differential equations describe the dynamics and interactions of the main components. These equations account for various factors, including the viscosity of the working fluid, pipeline resistance, and tire elasticity, allowing for accurate predictions of the machine's behavior. A notable feature is the integration of feedback, which adapts system performance to changes in external conditions and loads. The primary objective of this research is to create a model for analyzing and predicting HPS stability under different operating conditions. Modeling and calculations demonstrate a high degree of alignment with real-world data, confirming the accuracy of the developed model and its suitability for further engineering improvements. The results are of practical importance for enhancing the maneuverability, reliability, and safety of universal mobile machines, making the proposed methodology valuable for designing modern steering systems.

Keywords: hydrostatic power steering, tractors, mathematical modeling, stability, kinematics, dynamic characteristics.

References

1. Abe, M. Vehicle Control Dynamics: Theory and Application / Masato Abe, Satoru Yoshida, Hideki Nakano; translated from English by V. V. Smirnov. – SPb: Nauka, 2010. – 512 p.
2. Berezhnoi, V. I. Hydraulic Systems of Mobile Machinery / V. I. Berezhnoi, P. A. Petrov. – Moscow: Mashinostroenie, 2003. – 456 p.
3. Zimin, N. V. Hydraulic Drives and Hydraulic Machines / N. V. Zimin, Yu. A. Kuznetsov. – SPb : Politehnika, 2001. – 312 p.
4. Karpov, I. M. Hydrostatic Drives / I. M. Karpov. – Moscow: Vysshaya Shkola, 2002. – 284 p.
5. Malinin, A. S. Fundamentals of Hydraulics / A. S. Malinin. – Moscow: Energia, 2002. – 375 p.
6. Metlyuk, N. F. Dynamics of Pneumatic and Hydraulic Drives for Vehicles / N. F. Metlyuk, V. P. Avtushko. – Moscow: Mashinostroenie, 1980. – 231 p.
7. Frolov, K. V. Automation Hydraulic Systems / K. V. Frolov. – SPb : Piter, 2004. – 410 p.
8. Zhdanov, A. V. Substantiation of the Basic Design Parameters of Hydraulic Steering Mechanisms for Construction and Road Machines with Articulated Frames : Ph. D. Thesis in Eng. : 05.05.04, defended on 14.12.07, approved on 15.02.08 / A. V. Zhdanov. – Omsk, 2007. – 239 p.
9. Zhdanov, A. V. Selection of Main Design Parameters of Hydraulic Distributors for Designing Hydraulic Steering Drives / Sh. K. Mukushev, A. V. Zhdanov // Omsk Scientific Bulletin. – 2006. – No 8(44) – pp. 87–90.
10. Review of Control Valve for MTZ by FENOX (Belarus) : [website]. – URL: <https://fenoxagro.com/tpost/kcrxug69o1-obzor-nasos-dozatora-dlya-mtz-ot-fenox-b> (date accessed: 21.07.2024).
10. Operation Manuals for BELARUS-3522 : [website]. – URL: <http://old.mtz.by/service/operation-manual/> (date accessed: 22.07.2024).

KHODOSKINA O. A., Ph. D., Ass. Prof.,
eAss. Prof. of the Department «Transport Economics»,
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

GATALSKY E. A.,
Master's Student,
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Received 10 October 2024

THE RELEVANCE OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS IN URBAN TRAFFIC FLOW MANAGEMENT

This article discusses the relevance of using elements of an artificial intelligence (AI) to manage urban traffic flows. It studies problems solved by artificial intelligence, such as optimizing traffic signal cycles, route planning, improving road safety, improving public transportation, and developing intelligent transportation systems (ITS). This article provides an example of the implementation of artificial intelligence in urban transportation and discusses the challenges and limitations associated with implementing this technology. The use of modern technology solutions using current information technology (AI) at all stages of road network design and operation holds significant promise for reducing the potential losses caused by traffic delays and emergencies. Increasing the share of information and smart technology components in urban traffic flow management can also have a positive impact on road safety. The report concludes that artificial intelligence has huge potential to optimize transportation systems and create more efficient, safer and more sustainable cities.

Keywords: artificial intelligence, urban transport management, traffic flows, road traffic optimization, road safety, public transport, intelligent transport systems (ITS), autonomous vehicles, network mobility, calls and restrictions.

Introduction

In modern society, in the context of the problems of urban development, transport systems are forced to solve another problem – traffic delays caused by excessive movement of goods and passengers on the highways of urban roads and road networks. Excessive traffic on city streets has a negative impact on the economy, the environment and the quality of life of city residents. The increase in population density, the increasing number of cars, insufficient road capacity – all these factors contribute to reducing the efficiency of urban transport systems, creating major problems not only within the boundaries of a particular city, but across the country.

Addressing congestion on urban roads and road networks requires an integrated approach that includes multiple elements:

- modernization of urban transport infrastructure;
- route optimization;
- improving traffic management efficiency;

– development of alternative modes of transport.

From this perspective, the use of smart IT solutions is an important tool, utilizing it to solve local problems of traffic flow management in the context of design and further to effectively manage the urban transportation system can make the entire city happen. major structural changes.

Purpose of the study

Modern IT smart systems are capable of improving the organization and operation of urban traffic flows based on modern trends, technological solutions and potential capabilities in the field of technology and processes, instantly improving their overall performance and efficiency, taking into account their progressive technological updates and Changes, improve the safety of the road traffic process, save the total system cost of fuel and energy, thereby reducing emissions and other negative impacts on the environment, mitigating and improving

the economic, social, and environmental efficiency of road traffic, which is an important factor affecting the overall ecosystem of large cities and important factor in its economic development. Therefore, the purpose of this paper is to identify current urban

traffic flow management problems that can be solved using elements of AI systems.

The determining the significance of factors

The use of artificial intelligence elements allows us to solve a number of important problems of the urban transport system (fig. 1).

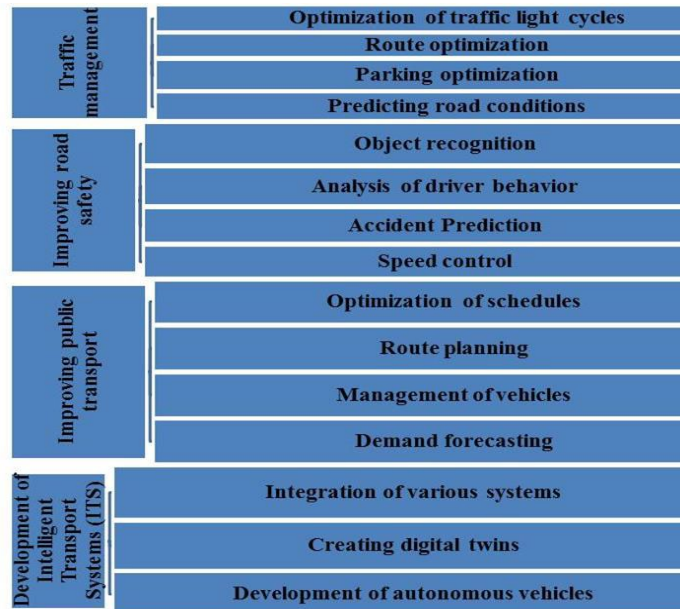


Figure 1 – Problems of the urban transport system that can be solved with the help of artificial intelligence

In general, the solutions offered by artificial intelligence can be as follows:

1. In terms of traffic management:

- the optimization process using artificial intelligence to adjust the traffic light cycle will enable real-time analysis of traffic flow data and dynamic adjustment of traffic light signals, effective adaptation to influencing factors and dynamic change of the current traffic situation to obtain the final travel time for all road users, thereby minimizing waiting, reducing delays in all elements of the road transport system and increasing road capacity on the road network;

- path optimization modeling using elements of artificial intelligence in algorithm modeling will allow analyzing data on traffic delays, current road conditions and travel time almost in real time in order to offer optimal routes for drivers, which reduces travel times and avoids delays;

- parking optimization, which involves the use of artificial intelligence to create automated parking space search systems, which increases the efficiency of parking space use and reduces the time it takes to find free spaces;

- forecasting road conditions, which involves modeling using artificial intelligence, which allows analyzing the dynamics of data on traffic flows, weather, events in the city and other factors in order to predict the traffic situation in the future, and this allows planning routes more optimally, thereby re-

lieving the most congested sections of the road network, avoiding traffic jams and taking measures to prevent emergency situations.

2. In terms of improving road safety:

- object recognition by connecting specialized artificial intelligence to information and management systems, including those equipped with cameras, makes it possible to recognize different types of objects on the road, such as pedestrians, cars, cyclists, road signs, and warn drivers of danger;

- analysis of driver behavior by connecting specialized software equipped with elements of artificial intelligence to analytical algorithms used for system analysis of data on speed, braking, acceleration, maneuvers and other characteristics of driver behavior in order to identify potentially dangerous situations and warn about them;

- forecasting emergency situations by modeling the traffic situation and road conditions in the traffic management system using specialized software with the inclusion of elements of artificial intelligence, which will allow analyzing data on road conditions, weather conditions, traffic and other factors in order to model the traffic situation and predict the likelihood of emergency situations;

- speed control by creating intelligent control systems of adaptive speed limitation that automatically adjust the maximum permissible speed depending on road conditions.

3. Improving the operation of the public transport system:

- optimizing schedules by applying algorithms using artificial intelligence, which will allow analyzing data on passenger flows and traffic conditions, and optimizing public transport schedules, thereby ensuring regular movement of buses, trolleybuses, trams and trains, minimizing the waiting time of passengers;

- route planning using elements of artificial intelligence, allowing the control system to offer optimal routes for public transport passengers, taking into account travel time, number of transfers and other significant factors;

- vehicle control, introducing technology and process smart solutions into the urban traffic robot control system, selecting the best solution for fuel and energy consumption, reducing systemic and item-by-item wear and tear of vehicles, thereby overall improving the efficiency of the urban traffic system;

- demand forecasting, which involves the use of analytical and predictive functions of artificial intelligence, which allows predicting passenger flows on certain routes and, as a result, planning the number of vehicles and optimizing the schedule.

4. Development of intelligent transport systems:

- integration of various systems that make up the urban transport system, which allows integrating various transport systems, such as traffic management systems, public transport systems, parking systems, traffic data collection systems and others, into a single intelligent management system;

- creation of digital twins by applying the analytical characteristics of artificial intelligence in simulation modeling, which allows for virtual experiments, optimization of transport solutions and forecasting their impact on urban infrastructure and the development of the city as a whole;

- development of autonomous vehicles, the control of which is based on the use of artificial intelligence and allows for navigation on the road, remote monitoring of traffic and decision-making without human intervention;

- parking management involves optimization of parking systems using artificial intelligence, ensuring more efficient distribution of parking spaces and reducing the time it takes to find free spaces.

The creation and improvement of modern artificial intelligence systems is based on so-called machine learning – a “training” method that trains systems based on large amounts of data [1]. This enables dedicated computing systems to identify functional patterns in the studied data set and make generalizations from which practical problems can be formulated and solved. In practice, work can be done in dif-

ferent ways to use data to automate the autonomous operation of technical equipment:

- supervised training;
- autonomous training;
- support training.

Supervised learning is a process in which a manager (either human or intelligent software) provides the initial input and subsequent correct responses needed to form an updated AI model. Through this use of data, smart information and management models learn to recognize patterns and predict further developments in situations. For example, by modeling the time road users spend on the road, taking into account the time of day and current weather conditions. Autonomous learning is a specific process in which the intelligent information-management model itself looks for functional dependencies and, based on this, determines the pattern of data distribution and relationships between its elements, without receiving correct decisions or explicit instruction instructions. In the field of transport, an example is the analysis of input data for the comprehensive characterization of the movement of vehicles in the stream to identify existing patterns and current and future trends. Intelligent data management systems based on artificial intelligence and supervised learning in traffic management can extract ordered information from data streams of various sizes without the need for prior calibration or classification, thus improving traffic management efficiency and overall productivity and safety. Support as an element of intelligent systems simulation of vehicle processes includes the use of artificial intelligence components to simulate intelligent control systems and learn intelligent systems through autonomous interaction with the environment. Artificial intelligence makes its own decisions and is «rewarded» or «punished» based on the results obtained. An example of this approach used in the transportation industry is adaptive control of complex intelligent traffic control systems and autonomous vehicles. It can be used as a system to teach and improve autonomous driving skills when the car has to make decisions based on simulated factors such as current real-world road conditions and interactions with other road users. The learning process can start from simulation modeling and scenario development of different behavior options of the traffic system model in a virtual data environment. A car can receive a positive or negative score depending on how flexibly and correctly it reacts to certain situations: for example, whether it drives safely, effectively changes the spatial situation on the highway, or how well it performs these actions. Once the learning aid-based intelligent information management system learns to make the best decisions in a virtual information environment, it can be transferred to a testing

ground equipped with special technology and finally to real test conditions on possible public roads. improve adaptive features and make decisions based on updated experience. This approach can also be used to optimize traffic control systems, automatic load management, and other controls in the transportation industry. Thus, learning assistance enables autonomous vehicles to adapt and respond to changing road conditions, thus improving road safety, efficiency and overall performance [1].

Support training is the process of training an intelligent management information model on a dataset containing tagged and untagged packets. Unlike supervised learning or self-learning, where the data and individual data are unlabeled, supervised learning allows the use of large amounts of unlabeled data to improve the quality of modeled vehicles. This is especially useful for tagging databases or single data items. An example of the application of the above-mentioned methods in the field of organization and operation of urban traffic systems is the creation of a unique and individual driver assistance system to increase the safety and better operation of cars. In this case, the car can be equipped with an autonomous information intelligent management system that monitors the driver's habits and provides updated suggestions for improving the safety and efficiency of the vehicle. Autonomous Learning The automotive industry's intelligent autonomous driving learning systems improve driver quality, improve road safety, and provide unique, personalized and more efficient driving methods. So-called deep learning systems include a set of standard and unique machine learning methods that are based on using artificial neural networks with large envelopes to learn complex patterns in data. An example of the use of advanced AI training methods in the transportation industry is developing systems for detecting and identifying objects on the road, such as cars, pedestrians, traffic lights, and other road infrastructure elements. This intelligent data management system uses deep learning to analyze video streams from traffic cameras and road infrastructure to automatically identify various road objects and dangerous traffic conditions. With advanced learning capabilities, the system becomes more accurate and autonomous in determining current road conditions and current traffic conditions [1]. Computer vision is a branch of artificial intelligence that allows machines to interpret and analyze visual information. Examples of computer vision applications in the transportation industry are traffic monitoring and analysis systems. Computer vision systems can automatically analyze video streams from cameras and detect unusual or dangerous situations, such as road accidents, traffic jams, and vehicle delays [3–9].

At the same time, in these intelligent systems, Natural language processing algorithms use natural language processing technology in transportation systems, including syntactic analysis, sentiment analysis, name recognition and other technologies to improve intelligent system and user interaction. Information management improves logistics efficiency. An example of their use in road traffic is voice control and driver information systems. It is worth noting that natural language processing technology plays an important role in improving the interaction with vehicle information systems and the management of logistics processes, helping to improve the comfort, efficiency and safety of the transportation industry. However, in addition to the above-mentioned advantages and possibilities of using artificial intelligence, there are many limitations to its use in urban traffic management (fig. 2). The above limitations are important factors to consider when modeling intelligent information and control systems for adaptive traffic control. City traffic management system and real business.

Despite these limitations, the use of artificial intelligence in urban traffic management still has good potential. Their essence can be summarized in the following aspects:

1) the development of self-driving cars shows that artificial intelligence plays a key role in the development of self-driving cars that can navigate, monitor traffic and make decisions without human intervention. Autonomous vehicles can significantly increase the efficiency of transport systems, reduce the number of accidents and improve the quality of urban life;

2) a smart city is an urban development concept in which artificial intelligence is the key technology to create smart cities, using digital technology to solve problems in various fields, including transportation. Using artificial intelligence to manage urban traffic will create more efficient, safe and sustainable cities;

3) networked mobility uses intelligent driving systems to optimize and integrate different modes of transportation, including personal automobiles, public transportation, bicycles, and pedestrians. This makes transport more adaptable and efficient system that will meet the needs of all users;

4) by combining elements of intelligent information modeling and management and «big data» technology into one system, it is possible to analyze large-scale clusters and different initial and intermediate result data on transport flows, find hidden patterns and formulate the most efficient solutions in transport systems solution.

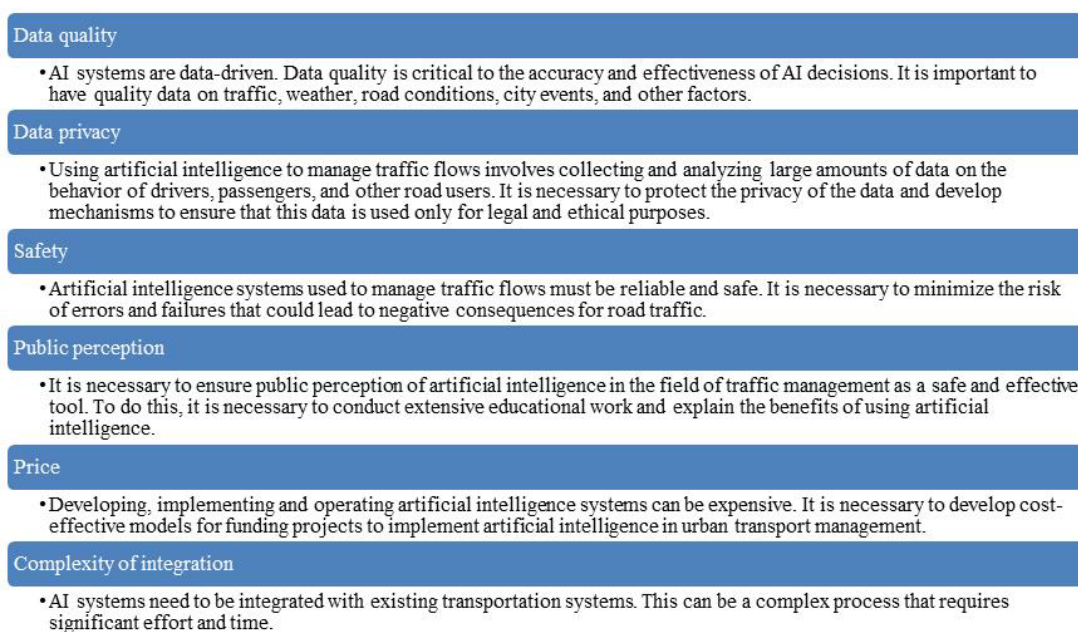


Figure 2 – Restrictions on the use of artificial intelligence in urban traffic management

Conclusion

It is worth noting that artificial intelligence is becoming a powerful tool to solve problems related to urban traffic management. If used properly, artificial intelligence can significantly improve the efficiency of the transportation system, reduce traffic congestion, improve road safety, make public transportation more efficient and convenient, and create more vi-

brant cities. However, data artificial intelligence has limited application in urban traffic management, data quality, privacy, security, public perception, and cost. It is important to design and implement artificial intelligence solutions in close cooperation with governments, transport companies, and city residents to ensure that they are effective and meet the interests of all participants in the transport system.

References

1. Karimov, K. S. Methods of artificial intelligence and their application in transport / K. S. Karimov // *Post-Soviet continent*. – 2023. – № 4 (40). – P. 106–115.
2. Merkulov, D. A. Artificial intelligence in transport : [website]. – URL: <https://scilead.ru/article/59-iskusstvennij-intellekt-na-transporte>. – (access date: 10.03.2024).
3. Khlebnikov, V. V., Stepanov, A. D. Using machine learning to optimize train schedules : [website]. – URL: <https://ojs.ingups.ru/index.php/mns/article/view/1483> (access date: 09.26.2024).
4. Hodoskina, O. A. Primenenie jelementov «cifrovogo dvojnika» kak faktor povyshenija konkurentosposobnosti transportnoj usluzi / O. A. Hodoskina, A. V. Chervenskaja // *Mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov «Rynok transportnyh uslug (problemy povyshenija jeffektivnosti)»*, vypusk 15, pod red. prof. V. G. Gizatullinoy, UO BelGUT. – P. 360–362.
5. Ovchinnikova, A. O. Primenenie jelementov tehnologii «cifrovogo dvojnika» na predpriyatijah zheleznoj dorogi / A. O. Ovchinnikova, A. V. Chervenskaja // *Mezhdunarodnaja studencheskaja nauchno-prakticheskaja konferencija «tehnika i tehnologii*

nazemnogo transporta», 14 dekabrja 2022, Nizhnij Novgorod.

6. Hodoskina, O. A. Jekonomicheskij aspekt primenenija jelementov cifrovogo dvojnika na predpriyatijah Belorusskoj zheleznoj dorogi / O. A. Hodoskina, A. V. Chervenskaja // – *Problemy bezopasnosti na transporte: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 160-letiju Bel. zh. d. (Gomel', 24–25 nojabrja 2022 g.)*: in 2 ch. / M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Bel. zh. d., Belorus. gos. un-t transp.; pod obshh. red. Ju. I. Kulazhenko. – Gomel': BelGUT, 2022. ch. 2. – P. 371–373.

7. Khodoskina, O. A. Functioning features of digital integrated transport and logistics systems at the present stage of economic development / O. A. Khodoskina, M. A. Doroshkova // «*Cifrovaja transformacija transporta: problemy i perspektivy: materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii «Cifrovye tehnologii transporta i logistiki»*. – Moskva, 27 sentjabrja 2023 g. / pod obshh. red. S. P. Vakulenko [et al.] – M. : RUT (MIIT), 2023. – P. 69–74.

8. Analiz mirovogo opyta v primenenii iskusstvennogo intellekta v sistemah upravljenija dorozhnym dvizheniem razlichnogo urovnja / D. B. Navoj,

D. V. Kapski, N. A. Filippova, I. N. Pugachev // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2024. – № 1. – S. 26–36. – DOI 10.21122/2309-4923-2024-1-26-36.

9. Bogdanovich, S. V. Analiz vozmozhnostej primeneniya metodov mashinnogo obuchenija i analiza bol'shih dannyh dlja vyjavlenija faktorov riska v upravlenii bezopasnost'ju dorozhnoj infrastruktury /

S. V. Bogdanovich, D. V. Kapski // Sovremennye tehnologii v transportnoj otrasli : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Novopolock, 25–26 aprelja 2024 goda. – Novopolock: Polockij gosudarstvennyj universitet imeni Evfrosinii Polockoj, 2024. – P. 114–117.

ХОДОСКИНА О. А., канд. экон. наук., доц.,
доц. кафедры «Экономика транспорта»
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

ГАТАЛЬСКИЙ Е. А.,
магистрант,
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 10.10.2024

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИИ ГОРОДСКИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

В этой статье рассматривается актуальность использования элементов искусственного интеллекта (ИИ) для управления городскими транспортными потоками. В ней изучаются проблемы, решаемые искусственным интеллектом, такие как оптимизация циклов светофорного регулирования, планирование маршрутов, повышение безопасности дорожного движения, улучшение работы общественного транспорта и разработка интеллектуальных транспортных систем (ИТС). В этой статье приводится пример внедрения искусственного интеллекта в городской транспорт и обсуждаются проблемы и ограничения, связанные с внедрением этой технологии. Использование современных технологических решений с использованием современных информационных технологий (ИИ) на всех этапах проектирования и эксплуатации дорожной сети имеет значительные перспективы для сокращения потенциальных потерь, вызванных задержками на дорогах и чрезвычайными ситуациями. Увеличение доли информационной составляющей и интеллектуальных технологий в управлении городскими транспортными потоками также может оказать положительное влияние на безопасность дорожного движения. В результате можно сделать вывод о том, что искусственный интеллект имеет огромный потенциал для оптимизации транспортных систем и создания более эффективных, безопасных и устойчивых городов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, управление городским транспортом, транспортные потоки, оптимизация дорожного движения, безопасность дорожного движения, общественный транспорт, интеллектуальные транспортные системы (ITS), автономные транспортные средства, сетевая мобильность, вызовы и ограничения.

Литература

1. Каримов, К. С. Методы искусственного интеллекта и применение их на транспорте / К. С. Каримов // Постсоветский материк. – 2023. – № 4(40). – С. 106–115.

2. Меркулов, Д. А. Искусственный интеллект на транспорте : [сайт]. – URL: <https://scilead.ru/article/59-iskusstvennij-intellekt-na-transporte> (дата обращения: 03.10.2024).

3. Хлебников, В. В. Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов / Хлебников, В. В., Степанов А. Д. : [сайт]. – URL: <https://ojs.ircgups.ru/index.php/mns/article/view/1483> (дата обращения: 26.09.2024).

4. Hodoskina, O. A. Primenenie jelementov «cifrovogo dvojnika» kak faktor povyshenija konkurentosposobnosti transportnoj usluzi / O. A. Hodoskina, A. V. Chernevskaja // Mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov «Rynok transportnyh uslug (problemy povyshenija jeffektivnosti)», vypusk 15, pod red. prof. V. G. Gizatullinoy, UO BelGUT. – P. 360–362.

5. Ovchinnikova, A. O. Primenenie jelementov tehnologii «cifrovogo dvojnika» na predpriyatiyah zheleznoj dorogi / A. O. Ovchinnikova, A. V. Chernevskaja // Mezhdunarodnaja studencheskaja nauchno-prakticheskaja konferencija «tehnika i tehnologii nazemnogo transporta», 14 dekabrya 2022, Nizhnij Novgorod. Stat'ja prinjata v publikaciju v sbornike.

6. Hodoskina, O. A. Jekonomicheskij aspekt primeneniya jelementov cifrovogo dvojnika na predpriyatiyah Belorusskoj zheleznoj dorogi / O. A. Hodoskina, A. V. Chernevskaja // – Problemy bezopasnosti na transporte: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 160-letiju Bel. zh. d. (Gomel', 24–25 nojabrya 2022 g.): in 2 ch. / M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Bel. zh. d., Belarus. gos. un-t transp.; pod obshh. red. Ju. I. Kulazhenko. – Gomel': BelGUT, 2022. ch. 2. – P. 371–373.

7. Khodoskina, O. A. Functioning features of digital integrated transport and logistics systems at the present stage of economic development / O. A. Khodoskina, M. A. Doroshkova // «Cifrovaja transformacija transporta: problemy i perspektivy: materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii «Cifrovye tehnologii transporta i logistiki». – Moskva, 27 sentjabrya 2023 g. / pod obshh. red. S. P. Vakulenko [et al.] – M.: RUT (MIIT), 2023. – P. 69–74.

8. Анализ мирового опыта в применении искусственного интеллекта в системах управления дорожным движением различного уровня / Д. В. Навой, Д. В. Капский, Н. А. Филиппова, И. Н. Пугачев // Системный анализ и прикладная информатика. – 2024. – № 1. – С. 26–36.

9. Богданович, С. В. Анализ возможностей применения методов машинного обучения и анализа больших данных для выявления факторов риска в управлении безопасностью дорожной инфраструктуры / С. В. Богданович, Д. В. Капский // Современные технологии в транспортной отрасли : Сборник статей Международной научно-технической конференции, Новополоцк, 25–26 апреля 2024 года. – Новополоцк: Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, 2024. – С. 114–117.

ПОВАРЕХО А. С., канд. техн. наук, доц.,
доц. каф. «Тракторы»
E-mail: povarekho@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15.08.2024

ДИНАМИКА ТОРМОЖЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНОГО ТРАКТОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО КРИВОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Движение колесной машины по криволинейной траектории, с точки зрения кинематических параметров и силовых воздействий на ее устойчивость и управляемость, представляется достаточно сложным процессом, выходные характеристики которого зависят от большого числа как конструктивных параметров, так и эксплуатационных условий. Особенно это проявляется для полноприводных машин, у которых имеют место кинематические и силовые межмостовые и межколесные связи. Если для установившегося движения эти взаимосвязи в некоторой степени могут быть вполне определенными, то на переходных режимах, характеризующихся изменением возмущающих воздействий на колесную машину, происходит варьирование этих параметров, которое может привести к существенному изменению динамических характеристик движения на повороте, которые потенциально могут привести к отклонению от желаемой траектории движения, потере управляемости и заносу колесной машины. При этом следует отметить влияние на указанные процессы типа межколесных и межмостовых связей и их параметров. Целью данной работы являлось получение математических моделей движения колесного полноприводного трактора на повороте в процессе торможения, которые позволили бы оценить выходные параметры движения и влияние на них некоторых конструктивных параметров трансмиссии и тормозной системы.

Ключевые слова: полноприводный трактор, торможение, скольжение, кинематическое несоответствие, дифференциал, криволинейное движение, угол поворота.

Введение

Процесс движения колесной машины на повороте в отличие от прямолинейного движения характеризуется целым рядом особенностей [1–3], которые наиболее проявляются при неустановившемся движении (ускорении или замедлении). К одному из таких видов движения относится процесс торможения. Здесь имеет место не только изменение эффективности торможения за счет нарастания тормозного момента, реализуемого тормозными механизмами, но и типа межколесной и межосевой связи [4, 7]. Блокировка межосевого привода приводит к перераспределению моментов не только между мостами, но и между колесами каждого из них. При этом распределение моментов зависит от реализуемого момента тормозными механизмами трактора, коэффициента блокировки дифференциальной связи колес, степени блокирования межосевого привода, величины кинематического несоответствия, угла поворота управляемых колес и также начальной скоро-

сти движения при торможении [3, 5]. Следует отметить, что в процессе торможения происходит изменение некоторых из этих параметров, что вызывает, в свою очередь, изменение динамических и кинематических характеристик движения полноприводного трактора.

Кроме того, очевидно, что различные типы систем блокировки дифференциалов по-разному будут сказываться на выходных параметрах процесса торможения. Установка в качестве механизма блокирования фрикционных муфт, с изменяемым моментом трения, позволяет получить переменный коэффициент блокировки, что, в принципе, позволяет регулировать распределение моментов. Для дифференциалов повышенного трения с подвижными сателлитами характерно постоянное значение коэффициента блокировки дифференциала, не зависящее от подводимого момента. Анализ конструкций трансмиссий тракторов семейства «Беларус» показывает, что в их ведущих мостах используются различные типы

дифференциалов, вследствие чего при криволинейной движении трактора в тормозном режиме с заблокированным межосевым приводом колеса одной оси могут быть заблокированы и вращаться с одинаковой угловой скоростью, а могут быть и разблокированы. При блокировании осей на наружных колесах, которые движутся по большему радиусу, тормозные силы больше, чем на внутренних.

Динамика торможения по криволинейной траектории

На рис. 1 приведена расчетная схема движения трактора на повороте в тормозном режиме с заблокированной трансмиссией с учетом боковой эластичности шин [5, 6]. Для определения скольжений забегавших и отстающих колес при торможении с заблокированной трансмиссией воспользуемся методикой по определению буксования колес при движении трактора с заблокированной трансмиссией в тяговом режиме, изложенной в работах [7–10].

Из кинематики поворота трактора можно записать

$$\omega_n = \frac{v_{д1}}{R_1} = \frac{v_{д2}}{R_2} = \frac{v'_{д1}}{R'_1} = \frac{v''_{д1}}{R''_1} = \frac{v'_{д2}}{R'_2} = \frac{v''_{д2}}{R''_2}, \quad (1)$$

где $v'_{д1}$, $v''_{д1}$, $v_{д1}$ – действительные скорости наружного и внутреннего колеса и середины передней оси трактора; R'_1 , R''_1 , R_1 – радиусы поворота забегавшего и отстающего колес и середины передней оси трактора.

На основании расчетной схемы рис. 1 радиусы траектории движения соответствующих колес и центров осей равны:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R}{\cos(\alpha_1 - \psi_1)}; \quad R'_1 = \frac{R - 0,5 \cdot B_1 - l \cdot \cos \alpha'_1}{\cos(\alpha'_1 - \psi'_1)}; \\ R''_1 &= \frac{R + 0,5 \cdot B_1 + l \cdot \cos \alpha''_1}{\cos(\alpha''_1 - \psi''_1)}; \\ R_2 &= \frac{R}{\cos \psi_2}; \quad R'_2 = \frac{R - 0,5 \cdot B_2}{\cos \psi'_2}; \\ R''_2 &= \frac{R + 0,5 \cdot B_2}{\cos \psi''_2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где R – радиус траектории движения трактора; α_i – углы поворота управляемых колес и центра передней оси; ψ_i – углы увода колес и центра осей.

При движении трактора с заблокированной трансмиссией теоретические скорости колес и центров каждого из мостов равны между собой.

Действительные скорости колес и центров каждого осей, выраженные через соответствующие скольжения определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} v_{д1} &= \frac{v_{т1}}{1 - S_1}; \quad v'_{д1} = \frac{v'_{т1}}{1 - S'_1}; \quad v''_{д1} = \frac{v''_{т1}}{1 - S''_1}; \\ v_{д2} &= \frac{v_{т2}}{1 - S_2}; \quad v'_{д2} = \frac{v'_{т2}}{1 - S'_2}; \quad v''_{д2} = \frac{v''_{т2}}{1 - S''_2}. \end{aligned} \quad (3)$$

где S'_1, S'_2, S_1, S_2 – скольжения забегавшего и отстающего колеса и середины передней оси.

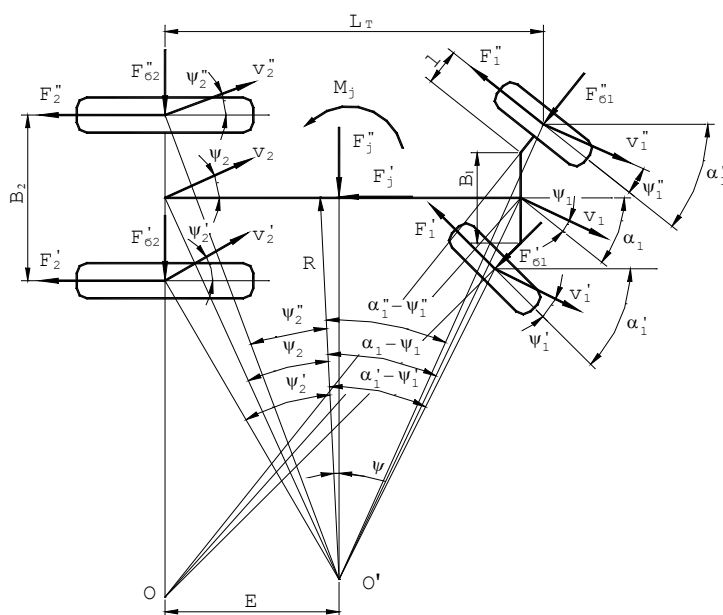


Рисунок 1 – Расчетная схема движения трактора на повороте в тормозном режиме

Решая совместно уравнения (1)–(3), определим скольжения наружных и внутренних колес при движении с заблокированной трансмиссией.

$$\begin{aligned} S'_1 &= 1 - \frac{(1-S_1) \cdot R_1}{R'_1}; \quad S''_1 = 1 - \frac{(1-S_1) \cdot R_1}{R''_1}; \\ S'_2 &= 1 - \frac{(1-S_2) \cdot R_2}{R'_2}; \quad S''_2 = 1 - \frac{(1-S_2) \cdot R_2}{R''_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) значение радиусов траектории движения, окончательно получим:

$$\begin{aligned} S'_1 &= 1 - \frac{(1-S_1) \cdot R \cdot \cos(\alpha'_1 - \psi'_1)}{(R - 0,5 \cdot B_1 - l \cdot \cos \alpha'_1) \cdot \cos(\alpha_1 - \psi_1)}; \\ S''_1 &= 1 - \frac{(1-S_1) \cdot R \cdot \cos(\alpha''_1 - \psi''_1)}{(R + 0,5 \cdot B_1 + l \cdot \cos \alpha''_1) \cdot \cos(\alpha_1 - \psi_1)}; \\ S'_2 &= 1 - \frac{(1-S_2) \cdot \cos \psi'_2}{(R - 0,5 \cdot B_2) \cdot \cos \psi_2}; \\ S''_2 &= 1 - \frac{(1-S_2) \cdot R \cdot \cos \psi''_2}{(R + 0,5 \cdot B_2) \cdot \cos \psi_2}. \end{aligned} \quad (5)$$

При движении трактора по криволинейной траектории с боковым уводом колес радиус его поворота определяется по известному выражению [7]:

$$R = \frac{L_r}{\operatorname{tg}(\alpha_1 - \psi_1) + \operatorname{tg} \psi_2}$$

Система уравнений (5) дает взаимосвязь скольжений тормозных колес исходя из кинематики поворота, не учитывая при этом тормозные силы, приложенные к колесам трактора. Выразим тормозные силы колес через их сложения и величины нормальных реакций, приходящихся на них. При этом используем линеаризованную характеристику реализуемого коэффициента сцепления от скольжения [5].

$$\begin{aligned} F'_1 &= -a_1 \cdot (b_1 - S'_1) \cdot N'_1; \quad F'_2 = -a_2 \cdot (b_2 - S'_2) \cdot N'_2; \\ F''_1 &= -a_1 \cdot (b_1 - S''_1) \cdot N''_1; \quad F''_2 = -a_2 \cdot (b_2 - S''_2) \cdot N''_2, \end{aligned}$$

где N'_1, N'_2 – реакции на передних внутреннем и наружном колесах; N''_1, N''_2 – реакции на задних внутреннем и наружном колесах; a_i, b_i – аппроксимационные коэффициенты кривых скольжения колес переднего и заднего мостов.

Распределение тормозных сил при торможении с заблокированной трансмиссией исходя из

системы уравнений (5) зависит от величин средних скольжений мостов, которые взаимосвязаны между собой. На основании равенства поступательных скоростей можно записать:

$$v_{д1} = \frac{v_{д2} \cdot \cos \psi_2}{\cos(\alpha_1 - \psi_1)}. \quad (6)$$

Соотношения действительных линейных скоростей центров осей представим следующей зависимостью

$$\frac{v_{д1}}{v_{д2}} = \frac{v_{т1} \cdot (1-S_2)}{v_{т2} \cdot (1-S_1)}. \quad (7)$$

Преобразовав зависимость (7) с учетом выражения (6) и, проведя соответствующие преобразования, получим выражение, связывающее скольжения мостов:

$$S_1 = 1 - \frac{v_{т1} \cdot \cos(\alpha_1 - \psi_1)}{v_{т2} \cdot \cos \psi_2} \cdot (1-S_2). \quad (8)$$

При отсутствии конструктивного кинематического несоответствия теоретического скорости $v_{т1} = v_{т2}$. Следовательно, выражение (8) примет вид:

$$S_1 = 1 - \frac{\cos(\alpha_1 - \psi_1)}{\cos \psi_2} \cdot (1-S_2). \quad (9)$$

Из выражения (9) следует, что взаимосвязь скольжений мостов при торможении с заблокированной трансмиссией на криволинейной траектории зависит только от угла поворота управляемых колес и углов увода осей. Геометрические параметры трактора не оказывают влияния на скольжения осей. Наличие конструктивного кинематического несоответствия в трансмиссии трактора изменяет взаимосвязь скольжений. Зависимость для определения этой взаимосвязи находится из выражения (8) при условии, что $v_{т1} = v_{т2} \cdot (1-m)$.

$$S_1 = 1 - \frac{(1-m) \cdot \cos(\alpha_1 - \psi_1)}{\cos \psi_2} \cdot (1-S_2).$$

Приведенная выше методика расчета дает возможность определить скольжение колес при торможении с заблокированной трансмиссией. Однако у трактора 1221 в переднем ведущем мосту установлен самоблокирующий дифференциал повышенного трения, срабатывающий

при определенной разности моментов на колесах. Это приводит к перераспределению тормозных моментов, соответствующих коэффициенту блокировки дифференциала $k_{\text{бл}} = 2,5$. В заднем мосту трактора используется автоматическая блокировка дифференциала, которая включается при повороте управляемых колес на определенный угол ($\alpha = 8^\circ$). Следовательно, между колесами передней и задней оси существует также дифференциальная связь, которую необходимо учитывать при расчетах.

При дифференциальной межколесной связи теоретические скорости колес взаимосвязаны между собой [7]:

$$v'_{\tau 1} + v''_{\tau 1} = 2 \cdot v_{\tau 1}; \quad v'_{\tau 2} + v''_{\tau 2} = 2 \cdot v_{\tau 2}. \quad (10)$$

Подставляя в (10) значения теоретических скоростей, определим взаимосвязь скольжений колес и центров передней и задней осей:

$$\frac{v'_{\text{д1}}}{v_{\text{д1}}} \cdot (1 - S'_1) + \frac{v''_{\text{д1}}}{v_{\text{д1}}} \cdot (1 - S''_1) = 2 \cdot (1 - S_1).$$

Тогда окончательно получим

$$\frac{R'_1}{R_1} \cdot (1 - S'_1) + \frac{R''_1}{R_1} \cdot (1 - S''_1) = 2 \cdot (1 - S_1);$$

$$\frac{R'_2}{R_2} \cdot (1 - S'_2) + \frac{R''_2}{R_2} \cdot (1 - S''_2) = 2 \cdot (1 - S_2).$$

Дифференциальная связь колес предполагает равенства тормозных сил. Следовательно, для переднего моста при условии, что $N'_1 = N''_1$, взаимосвязь скольжений колес будет иметь следующий вид:

$$S'_1 = b'_1 - \frac{a''_1}{a'_1} \cdot (b''_1 - S''_1).$$

При торможении передних колес в равных сцепных условиях ($a'_1 = a''_1$, $b'_1 = b''_1$) скольжения их будут одинаковы. На задних колесах нормальные реакции при торможении на криволинейной участке не равны между собой и взаимосвязь скольжений будет определять зависимость:

$$S'_2 = b'_2 - \frac{N''_2 \cdot a''_2}{N'_2 \cdot a'_2} \cdot (b''_2 - S''_2).$$

Для упрощения расчетов можно принять следующие допущения:

- углы поворота управляемых колес равны между собой, т. е. $\alpha'_1 = \alpha''_1 = \alpha_1$;
- коэффициенты сопротивления уводу k_y постоянны;
- тормозные колеса находятся в равных сцепных условиях.

В выражениях по определению тормозных сил входят нормальные реакции колес, для определения которых необходимо рассматривать пространственную одномассовую модель трактора [8, 11]. Система уравнений описывающая эту модель будет иметь вид:

$$\begin{aligned} N_1 + N'_2 + N''_2 &= m_{\tau} \cdot g; \\ F'_2 + F''_2 + (F'_1 + F''_1) \cdot \cos \alpha + (F'_{61} + F''_{61}) \cdot \sin \alpha + F'_j &= 0; \\ F'_{62} + F''_{62} + (F'_{61} + F''_{61}) \cdot \cos \alpha + \\ &+ (F'_1 + F''_1) \cdot \sin \alpha + F'_j = 0; \\ (F'_{62} + F''_{62}) \cdot l_2 + 0,5 \cdot B_2 \cdot (F'_2 - F''_2) + F'_{61} \cdot \\ &\cdot (0,5 \cdot B_1 \cdot \sin \alpha - l_1 \cdot \cos \alpha) - \\ &- F''_{61} \cdot (0,5 \cdot B_1 \cdot \sin \alpha + l_1 \cdot \cos \alpha) + \\ &+ F'_1 \cdot (0,5 \cdot B_1 \cdot \cos \alpha + l_1 \cdot \sin \alpha + l) + \\ &+ F'_1 \cdot (0,5 \cdot B_1 \cdot \cos \alpha + l_1 \cdot \sin \alpha - l) - M_j; \\ (N'_2 + N''_2) \cdot l_2 + 0,5 \cdot N_1 \cdot (l_1 - l \cdot \sin \alpha) - \\ &- 0,5 \cdot N_1 \cdot (l_1 + l \cdot \sin \alpha) - \\ &- F'_j \cdot h_{\tau} + (N''_2 - N'_2) \cdot 0,5 \cdot B_2 - F''_j \cdot h_{\tau} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Входящий в систему уравнения (11) инерционные силы F'_j, F''_j от поперечной и продольной составляющих замедления трактора, а также инерционный момент M_j , относительно вертикальной его оси, проходящий через центр масс на оси будут равны:

$$F'_j = -m_{\tau} \cdot j_x; \quad F''_j = -m_{\tau} \cdot j_y; \quad M_j = J_{\tau z} \cdot \varepsilon,$$

где j_x, j_y – составляющие ускорения центра масс по осям X и Y , соответственно;

ε – угловое ускорение «рыскания».

Продольное, поперечное и угловое ускорения трактора можно представить зависимостями:

$$j_x = \frac{dv}{dt} + l_2 \cdot \frac{v_0^2}{R^2}; \quad j_y = \frac{v_0^2}{R} - \frac{l_2}{R} \cdot \frac{dv}{dt}; \quad \varepsilon = \frac{1}{R} \cdot \frac{dv}{dt}.$$

Если подставить в приведенные уравнения значения входящих в них параметров, получим:

$$\begin{aligned}
j_x &= \frac{dv}{dt} + \frac{v_0}{L_T} \cdot (l_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \psi_1) - l_1 \cdot \operatorname{tg} \psi_2) \cdot \\
&\quad \cdot (\operatorname{tg}(\alpha - \psi_1) + \operatorname{tg} \psi_2); \\
j_y &= \frac{v_0}{L_T} \cdot (\operatorname{tg}(\alpha - \psi_1) - \operatorname{tg} \psi_2) + \\
&+ \frac{1}{L_T} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot (l_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \psi_1) - l_1 \cdot \operatorname{tg} \psi_2); \\
\varepsilon &= \frac{1}{L_T} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot (\operatorname{tg}(\alpha - \psi_1) + \operatorname{tg} \psi_2) + \\
&+ \frac{v_0}{L_T} \cdot \left(\frac{\dot{\alpha} - \dot{\psi}_1}{\cos^2(\alpha - \psi_1)} + \frac{\dot{\psi}_2}{\cos^2 \psi_2} \right).
\end{aligned}$$

Тормозные силы, приложенные к колесам трактора, зависят от тормозного момента, развиваемого тормозными механизмами, который равен:

$$M_{\tau} = \frac{(F'_1 + F''_1) \cdot r_1 \cdot \eta_{\tau 1}}{u'_{\tau 1}} + \frac{(F'_2 + F''_2) \cdot r_2 \cdot \eta_{\tau 2}}{u'_{\tau 2}},$$

где $u_{\tau 1}$, $u_{\tau 2}$ – передаточные отношения от колес соответствующего моста до тормозных механизмов;

$\eta_{\tau 1}$, $\eta_{\tau 2}$ – к. п. д. участков трансмиссии от колес соответствующего моста до тормозных механизмов;

r_1 , r_2 – динамические радиусы колес переднего и заднего мостов.

Проведенный расчет распределения тормозных сил между колесами трактора Беларус-1221 при движении с заблокированным приводом при криволинейной траектории, показывает (рис. 2), что с увеличением угла поворота управляемых колес кинематическое несоответствие между колесами переднего и заднего моста возрастает.

Так, к примеру, при прямолинейной движение величина кинематического несоответствия была равна 0,04, а при повороте управляемых колес на 20° достигает 0,1. Увеличение кинематического несоответствия приводит к тому, что тормозные силы на передних колесах возрастают, а на задних убывают.

При этом существенное влияние на распределение тормозных сил между колесами одной оси оказывают тип межколесной связи. Из рис. 2 следует, что на передней оси при малых углах поворота на наружном колесе наблюдается увеличение тормозной силы, а на внутреннем – ее уменьшение. В этом случае дифференциал заблокирован и колеса передней оси вращаются как одно целое. В случае достижения соотношения моментов на забегающем и отстающим колесах равного 2,5 дифференциал срабатывает и колеса начинают вращаться с разной угловой скоростью. Дальнейшее увеличение угла поворота управляемых колес приводит к росту тормозных сил как на наружном, так и на внутреннем колесе с постоянным их соотношением.

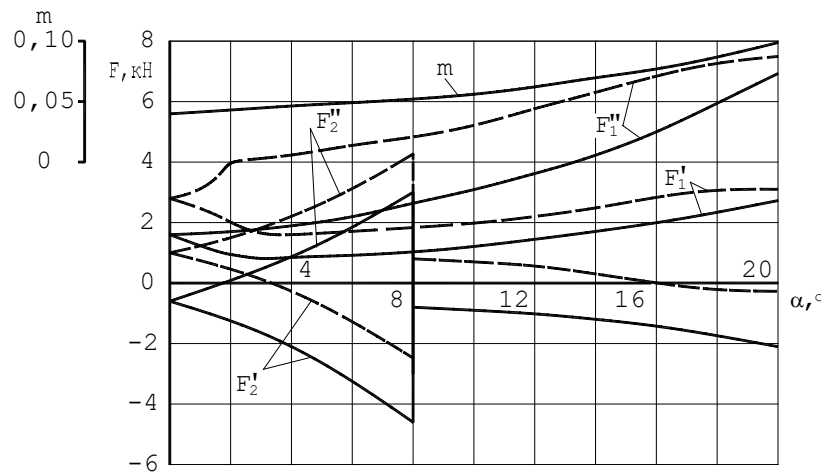


Рисунок 2 – Распределение тормозных сил между колесами трактора при торможении с заблокированным межосевым приводом в зависимости от угла поворота управляемых колес ($V_0=2,8$ м/с):

— — — — — $M_{\tau} = 0$; — — — — — $M_{\tau} = 1$ кН·м

На задней оси при малых углах поворота с включенной блокировкой дифференциала на наружном колесе наблюдается увеличение тормозной силы, а на внутреннем ее уменьшение. Это происходит до тех пор, пока угол поворота

управляемых колес не достигнет 8° , при котором происходит разблокирование дифференциала. При дальнейшем увеличении угла поворота управляемых колес тормозные силы на колесах задней оси будут равны.

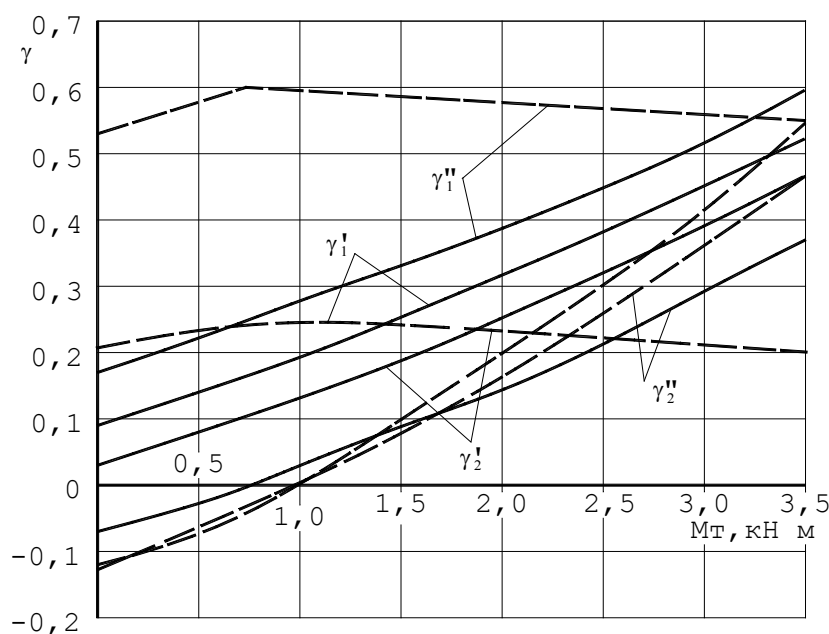


Рисунок 3 – Распределение удельных тормозных сил между колесами трактора при торможении с заблокированным межосевым приводом ($V_0=2,8$ м/с):
 — $\alpha=2^\circ$; — — — $\alpha=18^\circ$

Характер изменения удельных тормозных сил, приведенный на рис. 3 показывает, что использование сцепного веса каждого колеса трактора существенным образом зависит не только от величины момента тормозных механизмов, но и от угла поворота управляемых колес. Особенно это влияние характерно для колес передней оси. Так, к примеру, при $\alpha=18^\circ$ сцепной вес наружного колеса передней оси полностью используется при $M_t=0,75$ кН·м. На задних колесах в этом случае будет возникать ведущий момент. С уменьшением угла поворота управляемых колес будет происходить сближения удельных тормозных сил, а также наблюдается пропорциональное изменение удельных тормозных сил γ_i с увеличением M_t .

Заключение

Таким образом, в результате исследований установлено, что существующая тормозная система трактора Беларус-1221 не позволяет получить равные удельные тормозные силы на колесах при движении по криволинейной траектории. Для получения близких по величине удельных тормозных сил на колесах при движении на повороте необходимо отсутствие кинематического несоответствия между колесами мостов и дифференциальная связь колес одной оси.

Блокирование межосевых и межколесных связей неоднозначно сказывается на качестве торможения при различных конструктивных

параметрах трактора и эксплуатационных условиях. Это требует разработки специальных алгоритмов управления фрикционными узлами трансмиссии в процессе торможения, в том числе и силовой анализ выходных параметров движения [12].

Литература

1. Горин, Г. С. Разработка гибридной теории поворота машинно-тракторного агрегата. Кинематика / Г. С. Горин // Весці. НАН Беларусі. Сер. аграрн. навук. – 2012. – № 1. – С. 91–107.
2. Беляев, А. Н. Исследование движения колесной машины по криволинейной траектории / А. Н. Беляев [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 4 (71). – С. 21–29.
3. Исмаилов, В. А. Снижение отрицательного влияния кинематического несоответствия в трансмиссии полноприводных колесных машин / В. А. Исмаилов, И. М. Меликов // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-otritsatelnogo-vliyaniya-kinemacheskogo-nesootvetstviya-v-transmissii-polnoprivodnyh-kolesnyh-mashin> (дата обращения: 17.06.2024).
4. Сергиеня, В. Н. Исследование динамических характеристик торможения полноприводного трактора / В. Н. Сергиеня, А. С. Поварехо // НИРС АТФ-2023 : материалы 79-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: Т. В. Ма-тюшинец [и др.]; под общ. ред.

А. С. Поварехо ; сост. А. С. Поварехо. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 4–7.

5. Тракторные поезда / Под ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1982 – 183 с.

6. Thomas, D. Gillespie. Fundamentals of Vehicle Dynamics / D. Thomas // Published by: Society of Automotive Engineers, Inc. 400 Commonwealth Drive Warrendale, PA 15096-0001. – URL: <http://dmlvdrv.narod.ru/Translate/FVD/index.html> (дата обращения: 20.06.2024).

7. Литвинов, А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.

8. Тракторы. Теория / Под ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1988 – 374 с.

9. Ванцевич, В. В. Исследование дифференциалов повышенного трения и их влияния на поворачиваемость колесных тракторов 4К4 класса 14–20 кН : дисс...канд. техн. наук/ Ванцевич Владимир. – Мн.: 1981. – 242 с.

10. Лефаров, А. Х. Исследование тяговых свойств автомобилей и колесных тракторов 4К4 в зависимости от схемы силового привода: дисс...докт.техн. наук/ Лефаров Анатолий Христофорович. – Мн.: 1974. – 302 с.

11. Поварехо, А. С. Нагруженность тормозных механизмов полноприводного универсально-пропашного трактора кл. 1,4 и повышение их долговечности : дис. ... канд. техн. наук / Поварехо Александр Сергеевич.– Мн.: БПИ, 1993. – 216 с.

12. Сазонов, И. С. Управление движением колесных машин на основе измерения и анализа силовых факторов / И. С. Сазонов [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3 (20)–4 (21). – с. 177–188.

UDC 629.3.014.2.072

PAVAREKHA Alexandr S., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Professor
E-mail: povarekho@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 15 August 2024

BRAKING DYNAMICS OF A FOUR-WHEEL DRIVE TRACTOR WHEN MOVING ALONG A CURVED TRAJECTORY

The movement of a wheeled vehicle along a curved trajectory, from the point of view of kinematic parameters and force effects on its stability and controllability, seems to be a rather complex process, the output characteristics of which depend on a large number of both design parameters and operational conditions. This is especially evident for all-wheel drive vehicles, which have kinematic and power inter-bridge and inter-wheel connections. If these relationships can be quite definite to some extent for steady motion, then in transient modes characterized by a change in disturbing effects on a wheeled vehicle, there is a variation of these parameters, which can lead to a significant change in the dynamic characteristics

of movement on a turn, which can potentially lead to a deviation from the desired trajectory of movement, loss of controllability and the nose of a wheeled vehicle. At the same time, it should be noted the influence of the type of inter-wheeled and inter-bridge connections and their parameters on these processes. The purpose of this work was to obtain mathematical models of the movement of a wheeled four-wheel drive tractor on a turn during braking, which would allow us to evaluate the output parameters of the movement and the influence on them of some design parameters of the transmission and braking system.

Keywords: *four-wheel drive tractor, braking, sliding, kinematic mismatch, differential, curvilinear motion, angle of rotation.*

Reference

1. Gorin, G. S. Development of a hybrid theory of turning a machine-tractor unit. *Kinematics / G. S. Gorin // Vesci. NAS Belarussi. Ser. agrarn. navuk.* – 2012. – No. 1. – pp. 91–107.
2. Belyaev, A. N. Investigation of the movement of a wheeled machine along a curved trajectory / A. N. Belyaev [et al.] // *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University.* – 2021. – Vol. 14, № 4 (71). – pp. 21–29.
3. Ismailov, V. A. Reduction of the negative influence of kinematic inconsistency in the transmission of four-wheel drive vehicles / V. A. Ismailov, I. M. Melikov // *Scientific journal of KubGAU.* – 2015. – № 114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-otritsatelnogo-vliyaniya-kinematicheskogo-nesootvetstviya-v-transmissii-polnoprivodnyh-kolesnyh-mashin>. – Date of access: 17.06.2024.
4. Sergienya, V. N. Investigation of the dynamic characteristics of braking of a full-drive tractor / V. N. Sergienya, A. S. Povarekho // *NIRS ATF-2023 : materials of the 79th student scientific and technical conference / editorial board: T. V. Matyushinets [et al.] ; under total. ed. by A. S. Povarekho; comp. by A. S. Povarekho.* – Minsk : BNTU, 2023. – pp. 4–7.
5. Tractor trains / Edited by V. V. Guskov. – M. : Mechanical Engineering, 1982 – 183 p.
6. Thomas, D. Gillespie. Fundamentals of Vehicle Dynamics / D. Thomas // Published by: Society of Automotive Engineers, Inc. 400 Commonwealth Drive Warrendale, PA 15096-0001. – URL: <http://dmilvdy.narod.ru/Translate/FVD/index.html> (access date: 20.06.2024).
7. Litvinov, A. S. Controllability and stability of the car / A. S. Litvinov. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 416 p.
8. Tractors. Theory / Edited by V. V. Guskov. – M. : Mashinostroenie, 1988 – 374 p.
9. Vantsevich, V. V. Investigation of increased friction differentials and their effect on the turnability of 4K4 wheeled tractors of class 14–20 kN : Diss... candidate of Technical Sciences / Vantsevich Vladimir. – Mn. : 1981. – 242 p.
10. Lefarov, A. H. Investigation of traction properties of cars and wheeled tractors 4K4 depending on the scheme of power supply : dissertation of the Doctor of technical Sciences / Lefarov Anatoliy Hristoforovich. – Mn.: 1974. – 302 p.
11. Povarekho, A. S. Loading of the torsion mechanisms of the all-wheel drive universal-tilled tractor cl. 1,4 and increasing their durability : dis. ... candidate of Technical Sciences / Alexander Sergeevich Povarekho. – Mn. : BPI, 1993. – 216 p.
12. Sazonov, I. S. Motion control of wheeled vehicles based on measurement and analysis of force factors / I. S. Sazonov [et al.] // *Mechanics of machines, mechanisms and materials.* – 2012. – № 3 (20)–4 (21). – pp. 177–188.

ТРЕБОВАНИЯ
к содержанию и оформлению научных
статей, принимаемых к публикации
в сборнике научных статей
«Транспорт и транспортные системы»

К публикации принимаются научные статьи, обзорные статьи на русском и английском языках.

Материалы статей представляются на бумажных (в двух экз.) и на электронных носителях или отправляются по электронной почте transport_systems@bntu.by; POVAREKHO@bntu.by). При отправлении статьи по электронной почте подписи автора(ов) о принятии правил редакционной этики сборника, разработанной с учетом международных норм и правил, направляются отдельным файлом в формате *.pdf; или *.jpeg.

Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.).

Статья должна включать:

- **индекс УДК** (универсальный десятичный код) тематической рубрики (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все прописные);

- **название на русском и английском языках** (должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, набор текста – шрифт Times New Roman 14 пт, полужирный, все прописные);

- **фамилию, имя, отчество автора (авторов) на русском и английском языках** в именительном падеже, ученую степень, ученое звание или специальность по диплому (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные). *Аспиранты также должны указывать фамилию, инициалы, ученую степень, звание научного руководителя.*

- **место работы, учебы на русском и английском языках** (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные);

- **почтовый индекс и адрес учреждения, в котором работает автор; адрес эл. почты; телефон** (эти сведения будут указаны в статье – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные);

- **аннотацию и ключевые слова** (объем 150–200 слов, **на русском и английском языках**) (далее набор текста – шрифт Times New Roman 11 пт, курсив, как в предложении), должна содержать (рекомендованная структура): цель и задачи работы, методы исследований, результаты, выводы, ключевые слова, взятые не из названия (не более 10 слов). Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

- **введение** (краткий обзор литературы по проблеме исследования, указаны нерешенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель исследований);

- **основную часть** (возможно деление на подразделы), включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), однако таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга, т. е. не следует перегружать текст статьи иллюстративным материалом;

- **выводы** – в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ;

- **перечень принятых обозначений и сокращений** (при необходимости);

- **список использованных источников**, должен быть составлен в порядке цитирования в тексте, оформляется в соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 25.06.2014 № 159 (в редакции приказа Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 01.10.2024 № 230) и располагается в конце статьи, ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. В статьях должно быть не менее 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

При оформлении статей, кроме ГОСТ 7.1–2003, необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- **иллюстрации** выполняются в форматах .jpeg, .bmp, .tif, .png и располагаются в тексте статьи после первого упоминания о них. *Не допускается выполнение рисунков средствами MS Word.* Ссылки на рисунки в тексте обязательны. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное черно-белое или цветное изображение и, кроме того, представляются в виде отдельных файлов на электронном носителе;

- **таблицы** должны иметь названия и располагаться непосредственно по тексту. Не ре-

комендуется выполнять горизонтальные таблицы. Количество таблиц – не более трех;

– **формулы** (все символы латинского, греческого алфавитов и иные, используемые в формулах) *набираются только с помощью редактора формул MathType*. В последнем должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 17 пт, мелкий символ – 12 пт. При переносе части формулы на следующую строку в начале этой строки повторяется знак математического действия, которым заканчивалась предыдущая строка. *При этом латинские символы должны быть набраны курсивом как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – прямо.*

При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания в тексте. Номера формул выравниваются по правому краю страницы;

– **размерность физических величин и химических показателей**, используемых в тексте, приводится в Международной системе единиц измерения (СИ).

– следует различать дефис «-» и тире «—». От текста тире отделяется единичными пробелами, исключение тире между цифрами и числами (4,0–12,5).

– статья должна быть подписана всеми авторами.

Технические показатели оформления статьи:

– параметры страницы: формат А4; отступ для полей – 20 мм;

– нумерация страниц снизу в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю;

– весь текст набирается шрифтом Times New Roman, кегль 11. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 5 мм.

– оформление элементов статьи следующее.

– при наборе основного текста не допускается установление:

- а) двух и более символов «пробел» подряд;
- б) абзацных и других отступов с помощью клавиши «Табуляция»;
- в) отступа (пробела) между словом и символами «точка», «запятая», «кавычка», «скобка».

РУКОПИСИ, ОФОРМЛЕННЫЕ БЕЗ УЧЕТА ДАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ, К РАССМОТРЕНИЮ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других сборниках или научных изданиях. Авторы несут ответственность за то, что материал уже печатался ранее.

Порядок приема статей:

– авторами статей могут являться аспиранты, преподаватели, научные сотрудники, докторанты, соискатели;

– со статьей в редакцию необходимо представить выписку из протокола заседания кафедры и экспертное заключение;

– иностранные граждане должны представлять вместе со статьей сопроводительное письмо на официальном бланке (с реквизитами) от ректора/проректора по науке своего вуза или научно-исследовательского учреждения. В иных случаях решение о приеме статьи принимается редколлегией сборника;

– статьи, поступившие в редакцию сборника, регистрируются в установленном порядке;

– гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается;

– материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются;

– редакция оставляет за собой право вносить изменения в правила оформления статей в связи с требованиями ВАК РФ и решениями редакционного совета сборника.

Научное издание

**ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ
СИСТЕМЫ:
конструирование, эксплуатация, технологии**

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 6

Подписано в печать 13.12.2024. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 19,64. Уч.-изд. л. 14,24. Тираж 50. Заказ 776.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.