

Научная статья
 DOI: 10.15593/24111678/2023.02.01
 УДК 629.3.014.4.017

Ю.Н. Строганов, Е.М. Пампура

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
 Екатеринбург, Россия

О ВЛИЯНИИ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ДЛИНОЙ ДЫШЛА ПРИЦЕПА НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА

Распределение веса автопоезда по нескольким ходовым осям позволяет снизить удельный осевой вес и при значительном повышении грузоподъемности по сравнению с одиночными транспортными средствами использовать автопоезда на дорогах общего пользования. При этом использование в составе автопоезда прицепов, как самостоятельных транспортных звеньев, приводит к увеличению габаритных размеров, главным образом по длине автопоезда. Увеличение габаритной длины и наличие шарнирных соединений между звеньями автопоезда отрицательно влияет на такие эксплуатационные свойства транспортного средства, как маневренность. Для прицепов длина дышла выбирается постоянной и максимальной, обеспечивающей беспрепятственное складывание звеньев транспортного поезда при любых радиусах поворота, имеющих место в эксплуатационных условиях. При этом максимальная длина дышла необходима только при малых радиусах поворота, при прямолинейном движении такой размер длины дышла не требуется.

Регулирование длины дышла возможно путем модернизации и применения тягово-сцепных устройств, обеспечивающих поддержание оптимальной длины дышла в зависимости от радиуса поворота автопоезда.

В статье предложена методика определения минимальной необходимой длины дышла при неустановившемся движении на повороте для автопоезда в составе с одноосным прицепом. Проведен анализ взаимозависимостей углов складывания автопоезда, угла поворота управляемых колес в процессе поворота автопоезда на 90° со стационарной и регулируемой длиной дышла. По результатам исследований представлен ряд запатентованных технических решений тягово-сцепных устройств с регулируемой длиной дышла прицепа, которые положительно влияют на безопасность автопоезда в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: автопоезд, тягово-сцепное устройство, регулируемая длина дышла, угол складывания автопоезда, стадии поворота автопоезда, криволинейное неустановившееся движение, режимный параметр поворота, габаритная длина автопоезда.

Iu.N. Stroganov, E.M. Pampura

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
 Yekaterinburg, Russian Federation

ON THE INFLUENCE OF A TRAILER HITCH WITH A VARIABLE DRAWBAR LENGTH ON THE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF AN AUTO TRACTOR TRAIN

The dispersal of the weight of the road train along several running axles makes it possible to reduce the specific axial weight and, with a significant increase in load capacity compared to single vehicles, use road trains on public roads. At the same time, the use of trailers as independent transport links in the composition of the road train leads to an increase in overall dimensions, mainly along the length of the road train. The increase in overall length and the presence of articulated joints between the links of the road train negatively affects such operational properties of the vehicle as maneuverability. For trailers, the length of the drawbar is chosen constant and maximum, ensuring unhindered folding of the links of the transport train at any turning radii that take place in operational conditions. At the same time, the maximum length of the drawbar is necessary only for small turning radii; in straight-line motion, such a length dimension of the drawbar is not required.

Adjustment of the drawbar length is possible by modernizing and using traction-coupling devices that ensure the maintenance of the optimal length of the drawbar depending on the turning radius of the road train.

The article proposes a method for determining the minimum required drawbar length in case of unsteady movement on a turn for a road train in composition with a single-axle trailer. An analysis of the interdependencies of the folding angles of the road train, the angle of rotation of the steered wheels in the process of turning the road train by 90° with a stationary and adjustable drawbar length is carried out. According to the results of research, a number of patented technical solutions for traction-coupling devices with adjustable length of the trailer drawbar are presented, which have a positive effect on the safety of the road train under operating conditions.

Keywords: road train, traction-coupling device, adjustable drawbar length, road train folding angle, road train turning stages, curvilinear unsteady motion, rotation mode parameter, overall length of the road train.

Использование автомобильных и тракторных поездов с двухосными и одноосными прицепами в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях народного хозяйства позволяет существенно повысить производительность транспорта и снижает себестоимость перевозок [1–3]. Это достигается, прежде всего, за счет существенного увеличения грузоподъемности автопоезда по сравнению с одиночными транспортными средствами. Рассредоточение веса автопоезда по нескольким ходовым осям позволяет снизить удельный осевой вес и при значительном повышении грузоподъемности по сравнению с одиночными транспортными средствами использовать автопоезда на дорогах общего пользования. При этом использование в составе автопоезда прицепов как самостоятельных транспортных звеньев приводит к увеличению габаритных размеров главным образом по длине автопоезда [4; 5].

Увеличение габаритной длины и наличие шарнирных соединений между звеньями автопоезда отрицательно влияет на эксплуатационные свойства транспортного средства – маневренность, управляемость, устойчивость прямолинейного и криволинейного движения. Применение одноосных прицепов в составе автопоездов более предпочтительно по сравнению с двухосными прицепами с точки зрения маневровых свойств [6–8], а также устойчивости прямолинейного и криволинейного движения. Дышло одноосного прицепа имеет лишь одну шарнирную связь с тягачом, что способствует лучшей управляемости автопоездом при движении и маневрировании, в том числе задним ходом, по сравнению с автопоездом в составе с двухосным прицепом, дышло которого имеет две шарнирные связи – одна из которых связывает прицеп с тягачом, а вторая соединяет дышло с рамой кузова прицепа.

Согласно ГОСТ 3163–2020 «Прицепы и полуприцепы автомобильные», размеры и расположение тягово-сцепного устройств прицепов должны быть такими, чтобы при повороте автопоезда (при движении вперед) соблюдались расстояния между тягачом и прицепом, исключаящие касания прицепа с тяговым автомобилем в условиях эксплуатации. Это условие определяется длиной дышла прицепа. Для прицепов длина дышла выбирается постоянной и максимальной, обеспечивающей беспрепятственное складывание звеньев транспортного поезда при любых радиусах поворота, имеющих место в эксплуатационных условиях. При этом максимальная длина дышла необходима только при малых радиусах поворота, при прямолинейном движении такой размер длины дышла не требуется.

Уменьшение длины дышла, а следовательно, и габаритной длины автопоезда при прямолинейном движении и больших радиусах поворота возможно при использовании тягово-сцепных устройств, регулирующих расстояние между тягачом и прицепом (длину дышла) при разных радиусах поворота автопоезда.

Для регулирования длины дышла в зависимости от радиуса поворота автопоезда рекомендуются различные виды механических, гидравлических и других устройств [9–12].

Одно из технических решений тягово-сцепного устройства с изменяемой длиной дышла прицепа, предлагаемое авторами данной работы, представлено на рис. 1.

Тягово-сцепное устройство одноосного прицепа с регулируемой длиной дышла содержит телескопическое дышло 1, выполненное из внутреннего и внешнего звеньев 2 и 3, при этом внешнее звено 3 выполнено в виде трубы заодно с рамой 4 прицепа, опирающейся через подпрессоренную ось 5 и ходовые колеса 6 на опорную поверхность дорожного полотна. Внутреннее звено 2 выполнено подвижным в продольном направлении относительно прицепа и связано

передней частью с тягачом 7 через шарнирное крепление внутреннего звена 2 дышла 1 к тягачу 7, выполненное в виде крестообразного шарнира, снабженного крестовиной, образованной из соединенных неподвижно между собой горизонтальной оси 8, расположенной в горизонтальной плоскости поперечно дышлу 1, и шкворня 9, расположенного вертикально в вертикальной продольной плоскости, проходящей через продольную ось одноосного прицепа. Горизонтальная ось 8 крестовины соединена с дышлом 1 посредством вилки, жестко соединенной с внутренним звеном 2 дышла 1, а шкворень 9 закреплен с возможностью вращения относительно его оси в верхней и нижней проушинах вилки-фланца, закрепленной на задней части тягача 7 с возможностью поворота в поперечной вертикальной плоскости. На верхней проушине вилки-фланца установлен распределитель 10 рабочей жидкости, связанный посредством гидромагистралей с гидросистемой тягача 7, а золотник распределителя 10 кинематически связан со шкворнем 9. Внутреннее и внешнее звенья 2 и 3 дышла 1 шарнирно соединены между собой посредством силового цилиндра 11 двухстороннего действия, рабочие полости которого А и Б соединены гидромагистральями с распределителем 10.

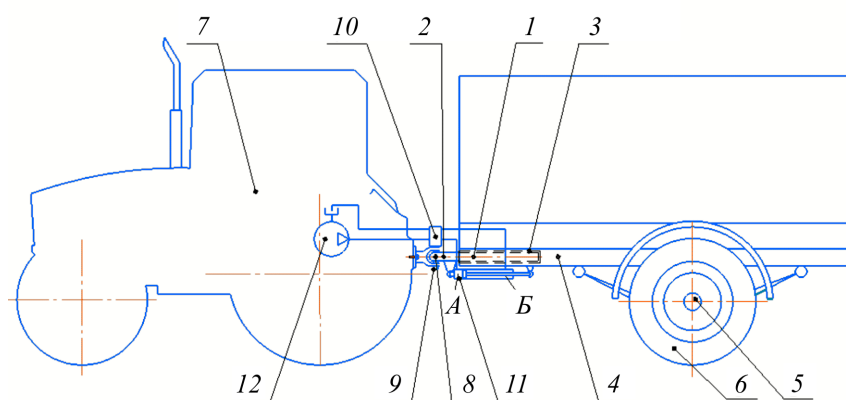


Рис. 1. Тягово-цепное устройство одноосного прицепа с регулируемой длиной дышла

Тягово-цепное устройство одноосного прицепа с регулируемой длиной дышла работает следующим образом.

При движении транспортного поезда по прямой дышло расположено в продольной вертикальной плоскости, проходящей через середины осей колес транспортного поезда. При этом силовой цилиндр 11 находится в сжатом положении, а распределитель 10 обеспечивает замкнутое положение рабочей жидкости в полости Б силового цилиндра 11, предотвращая разжатие силового цилиндра 11 от действия сил сопротивления движению прицепа. В сжатом положении силового цилиндра 11 связанное с ним внутреннее звено 2 дышла задвинуто внутрь внешнего звена 3, за счет чего обеспечивается минимальная длина дышла 1.

При повороте транспортного поезда (например, вправо) дышло поворачивается относительно тягача, при этом шкворень 9, кинематически связанный с золотником распределителя 10, воздействует на золотник, обеспечивая подачу рабочей жидкости в поршневую полость А силового цилиндра от источника давления 12, а также перемещение рабочей жидкости из полости Б в сливной резервуар гидросистемы тягача. При этом происходит разжатие силового цилиндра 11 и перемещение внешнего звена 3 и связанной с ним рамы 4 прицепа относительно внутреннего звена 2 назад противоположно ходу транспортного поезда. В результате сдвига рамы 4 прицепа увеличивается расстояние между тягачом 7 и прицепом, что обеспечивает поворот прицепа относительно тягача 7 без касания их частей. Минимально необходимая величина удлинения дышла при различных углах складывания прицепа относительно тягача 7 поддерживается путем регулировки распределителя рабочей жидкости, подающего необходимое количество рабочей жидкости в полости силового цилиндра 11 (аналогично распределителю гидроусилителя управляемых колес автомобиля).

Минимально необходимая длина дышла L_d одноосного прицепа в зависимости от угла поворота тягача с передними управляемыми колесами может быть определена по формулам, представленным авторами в работе [9].

Наиболее типичным в условиях эксплуатации является криволинейное неустановившееся движение [13; 14], которое происходит в основном в виде поворотов на углы 90° , 180° или близкие к ним углы.

Рассмотрим кинематику движения автопоезда, состоящего из тягача и одноосного прицепа с неуправляемыми колесами при повороте на 90° . Автопоезд проходит на повороте несколько стадий (рис. 2).

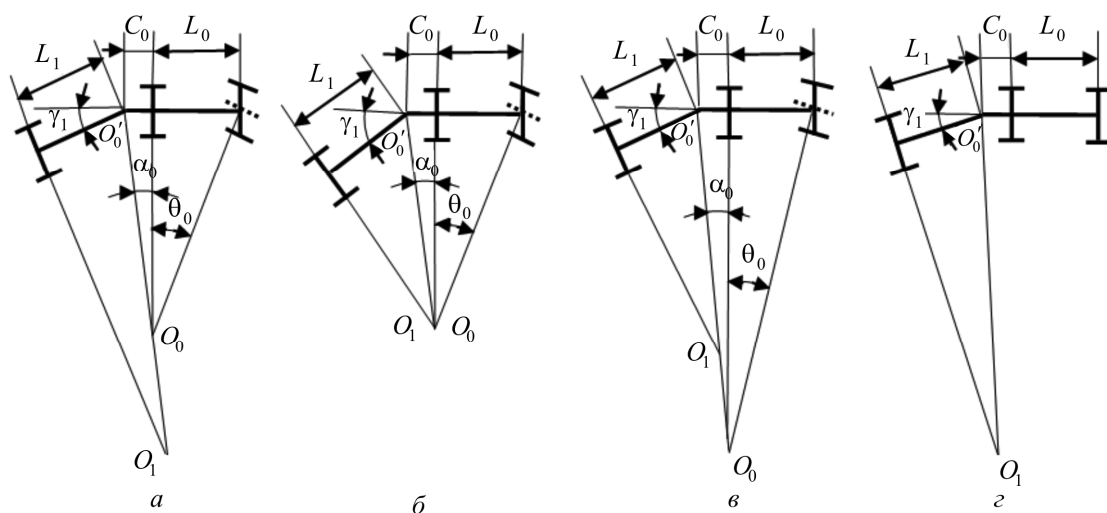


Рис. 2. Кинематика автопоезда с одноосным прицепом на разных стадиях неустановившегося поворота

В каждый данный момент прицеп совершает сложное движение: переносное вместе с тягачом с мгновенным центром в точке O_0 с угловой скоростью ω_0 , относительное (прицеп перемещается относительно тягача с мгновенным центром O_0' в точке сцепки) с угловой скоростью ω_c , вследствие чего между продольными осями тягача и прицепа образуется угол складывания γ_1 , и абсолютное вокруг центра O_1 с угловой скоростью ω_1 . Точки O_1 , O_0 и O_0' лежат на одной прямой.

1. Стадия входа в поворот (рис. 2, а). На этом участке движения угол поворота управляемых колес тягача θ_0 (средний приведенный угол поворота управляемых колес) увеличивается с нуля до своего максимального значения, переносный мгновенный центр вращения перемещается из бесконечности к своему предельному положению. Абсолютный мгновенный центр вращения прицепа перемещается из бесконечности к положению, соответствующему некоторому углу складывания γ_1 . Переносная и относительная угловые скорости прицепа направлены в противоположные стороны.

2. Стадия движения по круговой траектории. Здесь угол θ_0 поворота управляемых колес тягача остается постоянным. Точка O_0 находится в положении, соответствующем минимальному значению радиуса поворота середины задней оси колес тягача $R_{0\min}$. Точка O_1 приближается к точке O_0 , к концу кругового движения тягача эти точки совпадают (рис. 2, б).

3. Стадия выхода из поворота (рис. 2, в). Угол θ_0 поворота управляемых колес тягача уменьшается до нуля при выходе на прямую, переносный мгновенный центр вращения постепенно перемещаются в бесконечность. Расстояние между точками O_1 и O_0 увеличивается. Сразу с уменьшением угла θ_0 угол γ_1 начинает уменьшаться.

4. Стадия движения тягача по прямолинейной выходной траектории (рис. 2, г). Переносный мгновенный центр вращения находится в бесконечности. Прицеп продолжает еще криволинейное движение, приближаясь к прямолинейной траектории тягача, и угол складывания γ_1 уменьшается.

Определим, характер изменения угла складывания γ_1 в процессе поворота на 90° . На стадии входа автопоезда в поворот и стадии движения тягача по круговой траектории, согласно теореме сложения вращений твердого тела вокруг параллельных осей, величина абсолютной угловой скорости равна модулю разности переносной и относительной угловых скоростей. Так как $\omega_0 > \omega_c$ то $\omega_1 = \omega_0 - \omega_c$. Отношение расстояний O_0O_1 и $O_0'O_1$ равно отношению относительной и переносной угловых скоростей $O_0O_1 / O_0'O_1 = \omega_c / \omega_0$.

Учитывая, что $O_0O_1 = O_0'O_1 - O_0'O_0$, а относительная угловая скорость равна изменению угла складывания во времени, т.е. $\omega_c = d\gamma_1/dt$, получаем:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \omega_0 \left(1 - \frac{O_0'O_0}{O_0'O_1} \right). \quad (1)$$

Так как $O_0'O_0 = L_0 / (\operatorname{tg} \theta_0 \cos \alpha_0)$, $O_0'O_1 = L_1 / \sin(\gamma_1 - \alpha_0)$, а $\omega_0 = v \cdot \operatorname{tg} \theta_0 / L_0$, где α_0 – угол между осью задних колес тягача и прямой, проходящей через центр его поворота и точку сцепки дышла с прицепом, L_0 – продольная база тягача, L_1 – база прицепа, v – скорость движения тягача, то:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{v}{L_0} \operatorname{tg} \theta_0 \left(1 - \frac{L_0 \sin(\gamma_1 - \alpha_0)}{L_1 \operatorname{tg} \theta_0 \cos \alpha_0} \right).$$

После преобразования, с учетом того, что $\operatorname{tg} \alpha_0 = (C_0/L_0) \operatorname{tg} \theta_0$, где C_0 – вынос точки сцепки за заднюю ось тягача, имеем:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{v}{L_0} \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{v}{L_1} \left(\sin \gamma_1 - \frac{C_0}{L_0} \operatorname{tg} \theta_0 \cos \gamma_1 \right). \quad (2)$$

При движении по входной траектории задающим параметром является угол поворота управляемых колес тягача θ_0 . Характер изменения угла θ_0 определяется режимным параметром поворота [1], зависящим от линейной скорости движения автопоезда, качества дороги, квалификации водителя и др. Учитывая, что режимный параметр $k_n = |d\theta_0/dt|/v$, получаем:

$$\frac{d\gamma_1}{d\theta_0} = \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{k_n L_0} - \frac{1}{k_n L_1} \left(\sin \gamma_1 - \frac{C_0}{L_0} \operatorname{tg} \theta_0 \cos \gamma_1 \right). \quad (3)$$

При движении тягача по дуге окружности задающим параметром становится ее центральный угол φ . Так как $d\varphi/dt = v/R_{0\min}$, то:

$$\frac{d\gamma_1}{d\varphi} = 1 - \frac{R_{0\min} \sin \gamma_1 - C_0 \cos \gamma_1}{L_1}. \quad (4)$$

Когда автопоезд выходит из поворота, $\omega_1 = \omega_0 + \omega_c$ и $O_0O_1 = O_0'O_0 - O_0'O_1$. Выполнив преобразования, получаем уравнение, совпадающее с уравнением (2), а при переходе к задающему параметру θ_0 – уравнение, отличающееся от уравнения (3) только знаками перед слагаемыми в правой части уравнения. Поскольку при входе в поворот и при выходе из поворота $d\gamma_1/d\theta_0 > 0$, то при расчетах можно пользоваться одним уравнением, беря его правую часть по абсолютной величине.

При выходе из поворота на прямолинейный участок движения тягача задающим параметром будет путь S , проходимый тягачом по прямолинейному участку. Учитывая, что $dS/dt = v$ и $\theta_0 = 0$, получаем

$$\frac{d\gamma_1}{dS} = -\frac{\sin \gamma_1}{L_1}. \quad (5)$$

Угол складывания γ_1 является основным параметром, определяющим положение прицепа относительно тягача на повороте [1; 15]. Рассмотрим характер изменения угла складывания γ_1 на примере автопоезда в составе автомобиля-тягача ВАЗ-2121 «Нива» и одноосного прицепа «Уралец 2.0» 821303 при повороте на 90° . Для сравнения кинематических характеристик рассмотрим движение на повороте автопоезда с одноосным прицепом, имеющим базовое дышло постоянной длины и дышло регулируемой минимально необходимой для беспрепятственного совершения поворота длины.

Расчет изменения угла складывания при повороте автопоезда на угол 90° проводился методом Эйлера с пересчетом.

Для расчета угла складывания γ_1 приняты $L_0 = 2,2$ м, $v = 7$ м/с (25 км/ч), $k_n = 0,05$ рад/м. Предполагаем, что маневрирование происходит на повороте с радиусом закругления проезжей части дороги по ближней к центру закругления границе 12 м.

Вынос точки сцепки тягача с прицепом C_0 складывается из двух составляющих – расстояния от задней оси колес тягача до поперечной вертикальной плоскости, ограничивающей габариты тягача, $C = 0,835$ м и расстояния от этой плоскости до точки сцепки $z = 0,08$ м (принято согласно ГОСТ 3163–2020 «Прицепы и полуприцепы автомобильные»).

База прицепа L_1 складывается из длины дышла L_d и расстояния от переднего борта прицепа до оси колес прицепа $L = 1$ м. Для прицепа с постоянной длиной дышла – $L_d = 1,2$ м.

Для прицепа с регулируемой длиной дышла длина его рассчитывалась, исходя из условия, что минимальное расстояние между тягачом и прицепом при любых углах складывания остается постоянным и равным z . Минимальное расстояние между тягачом и прицепом при углах складывания, которые образуются при повороте на 90° , это расстояние между углом, образованным продольной и поперечной вертикальными плоскостями, ограничивающими габариты тягача, и углом, образованным передним и боковым бортами прицепа. Формула для вычисления длины дышла в зависимости от угла складывания в этом случае [9]:

$$L_d = \frac{B \sin \gamma_1 - 2z \cos \gamma_1 + \sqrt{4z^2 \cos^2 \gamma_1 + B^2 \sin^2 \gamma_1 + 2B(1 - \cos \gamma_1)(2z \sin \gamma_1 - B)}}{2}, \quad (6)$$

где B – габаритная ширина прицепа и тягача, которые приняты одинаковыми. Для расчета берем $B = 1,9$ м.

Когда автопоезд входит в поворот, угол поворота управляемых колес тягача θ_0 увеличивается от нуля до $\theta_{0\max} = 0,16$ рад ($9,17^\circ$), а радиус поворота середины задней оси колес тягача R_0 уменьшается до $R_{0\min} = 13,6$ м. Далее тягач движется по дуге окружности этого радиуса, центральный угол φ которой вычисляется по формуле [1]:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + 2 \frac{\ln(\cos \theta_{0\max})}{k_n L_0}. \quad (7)$$

По расчетным данным этот угол составил 1,34 рад ($76,6^\circ$). Далее угол θ_0 уменьшается до нуля, и тягач выходит на прямую.

Зависимости среднего приведенного угла поворота управляемых колес тягача θ_0 , угла складывания γ_1 автопоезда с постоянной длиной дышла прицепа, а также автопоезда с регулируемой длиной дышла прицепа в процессе поворота представлены на рис. 3, а.

Зависимость минимальной длины дышла L_d , обеспечивающей складывание автопоезда без касания прицепа и тягача в процессе поворота представлена на рис. 3, б.

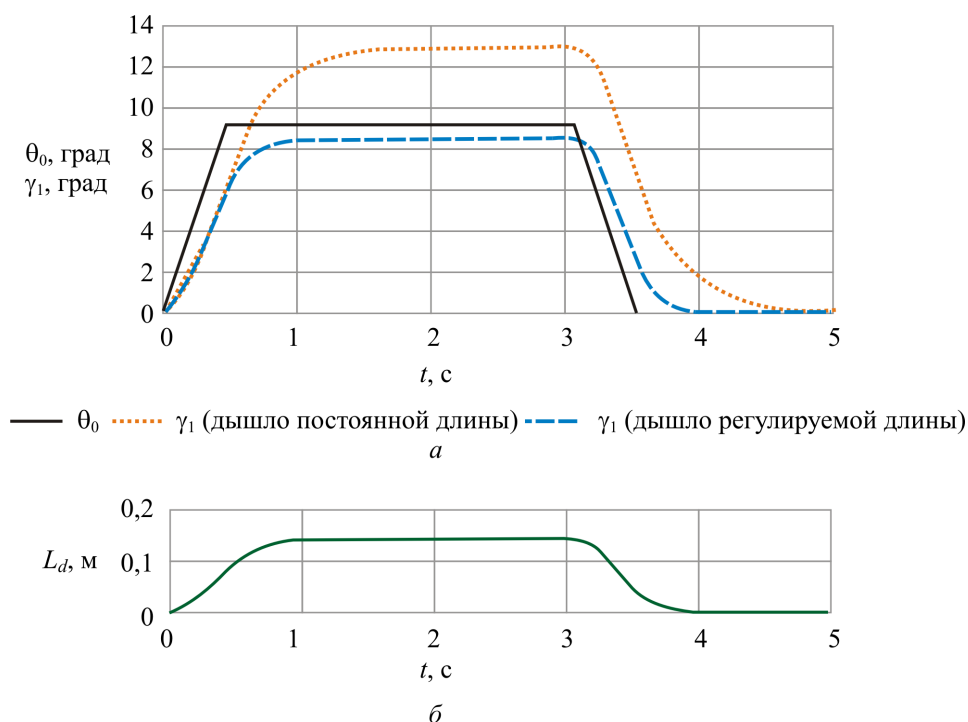


Рис. 3. Взаимозависимости углов складывания автопоезда, длины дышла и угла поворота управляемых колес в процессе поворота автопоезда на 90°

Заключение

Выполненные расчеты и полученные уравнения показали, что при повороте автопоезда в условиях изменения направления дороги на 90° с радиусом закругления проезжей части 12 м необходимое увеличение длины дышла прицепа от минимального значения составило 0,15 м.

Максимальный угол складывания прицепа относительно тягача при принятых условиях на повороте автопоезда на 90° при базовой постоянной длине дышла составил чуть больше 13° , а при минимально необходимой длине дышла – менее 9° (уменьшение составило порядка 34 %).

Применение тягово-сцепных устройств с регулируемой длиной дышла позволяет сократить габаритную длину автотракторного поезда при прямолинейном движении и улучшить его кинематические характеристики при маневрировании – а именно уменьшить смещение прицепа к центру поворота, сократить занимаемую полосу движения и габаритный коридор движения на повороте. Это положительно влияет на безопасность автопоезда в условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
2. Adilov O., Yuldashev A., Musurmonov U. Method for calculation of vehicle traffic on the roads [Электронный ресурс] // Golden Brain. – 2023. – Vol. 1, № 3. – P. 58–68. – URL: <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/1470/1747> (дата обращения: 08.04.2023).
3. Мирikitанов В.И., Андреев В.А. Эксплуатация и ремонт тракторных прицепов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 224 с.
4. Вахламов В.К. Автомобили. Эксплуатационные свойства. – М.: Академия, 2010. – 240 с.
5. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств / А.М. Иванов, А.Н. Нарбут, А.С. Паршин [и др.]; под ред. А.М. Иванова. – М.: Академия, 2014. – 176 с.
6. Аюпов В.В. Исследование маневренных свойств автопоездов на основе системного подхода. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – 96 с.
7. Павлов В.А., Муханов С.А. Транспортные прицепы и полуприцепы. – М.: Воениздат, 1981. – 176 с.

8. Амосов А.Г., Куприков М.Ю., Голиков В.А. Проблематика маневренности автопоездов при проектировании // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – Вып. 9. – С. 342–349.
9. Строганов Ю.Н., Пампура Е.М. Улучшение эксплуатационных характеристик и безопасности движения автопоезда с одноосным прицепом путем модернизации тягово-сцепного устройства // Известия МААО. – 2020. – № 52. – С. 23–28.
10. Тягово-сцепное устройство одноосного прицепа с регулируемой длиной тягового рычага: пат. 2792139 Рос. Федерация / Строганов Ю.Н. [и др.]. – № 2022128294; заявл. 01.11.2022; опубл. 17.03.23. Бюл. № 8. – 6 с.
11. Буксирное устройство изменяемой длины с механизмом гашения колебаний одноосного прицепа: пат. 203509 Рос. Федерация / Строганов Ю.Н., Михеев А.Ю., Строганова О.Ю. – № 2020135775; заявл. 30.10.2020; опубл. 08.04.21. Бюл. № 10. – 5 с.
12. Буксирное устройство переменной длины прицепа: пат. 154569 Рос. Федерация / Строганов Ю.Н., Порошин И.А., Мотоусов А.В. – № 2015109136; заявл. 16.03.2015; опубл. 27.08.15. Бюл. № 24. – 5 с.
13. Трояновская И.П. Методология моделирования криволинейного движения тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2011. – 296 с.
14. Гладов Г.И. Основы теории криволинейного движения и проектирования систем управления поворотом большегрузных транспортно-технологических агрегатов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1998, 40 с.
15. Крышень Н.И. Аналитический метод определения угла складывания автопоезда // Автомобильная промышленность. – 1979. – № 3. – С. 24–26.

References

1. Zakin Ia.Kh. Manevrennost' avtomobilia i avtopoezda [Maneuverability of a car and a road train]. Moscow, Transport, 1986, 136 p.
2. Adilov O., Yuldashev A., Musurmonov U. Method for calculation of vehicle traffic on the roads. *Golden Brain*, 2023, vol. 1, no. 3, p.p. 58–68, available at: <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/1470/1747> (accessed 08 April 2023).
3. Mirkitanov V.I., Andreev V.A. Ekspluatatsiia i remont traktornykh pritsepov [Operation and repair of tractor trailers]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 224 p.
4. Vakhlamov V.K. Avtomobili. Ekspluatatsionnye svoistva [Cars. Operational properties]. Moscow, Akademiia, 2010, 240 p.
5. Ivanov A.M., Narbut A.N., Parshin A.S. et al. Avtomobili. Teoriia ekspluatatsionnykh svoistv [Cars. Theory of operational properties]. Ed. A.M. Ivanov. Moscow, Akademiia, 2014, 176 p.
6. Aiuov V.V. Issledovanie manevrennykh svoistv avtopoezdov na osnove sistemnogo podkhoda [Study of maneuverable properties of road trains based on a systematic approach]. Perm, Permckaia gosudarstvennaia selskokhoziaistvennaia akademiia, 2012, 96 p.
7. Pavlov V.A., Mukhanov S.A. Transportnye pritsepy I polupritsepy [Transport trailers and semi-trailers]. Moscow, Voenizdat, 1981, 176 p.
8. Amosov A.G., Kuprikov M.Iu., Golikov V.A. Problematika manevrennosti avtopoezdov pri proektirovanii [The problems of maneuverability of road trains in the design]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no 9, pp. 342–349.
9. Stroganov Iu.N., Pampura E.M. Uluchshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik i bezopasnosti dvizheniia avtopoezda s odnoosnym pritsepom putem modernizatsii tiagovo-stsepnogo ustroistva [Improving the performance and traffic safety of a road train with a single-axle trailer by modernizing he towing device]. *Izvestiia Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniia*, 2020, no. 52, pp. 23–28.
10. Stroganov Iu.N. et al. Tiagovo-stsepnoe ustroistvo odnoosnogo pritsepa s reguliruemoi dlinoi tiagovogo rychaga [Traction-coupling device of a single-axle trailer with an adjustable length of the traction lever]. Patent 2792139 Rossiiskaia Federatsiia no. 2022128294 (2023).
11. Stroganov Iu.N., Mikheev A.Iu., Stroganova O.Iu. Buksirnoe ustroistvo izmeniaemoi dliny s mekhanizmom gasheniia kolebaniia odnoosnogo pritsepa [Towing device of variable length with a vibration damping mechanism of a single-axle trailer]. Patent 203509 Rossiiskaia Federatsiia no. 2020135775 (2021).
12. Stroganov Iu.N., Poroshin I.A., Motousov A.V. Buksirnoe ustroistvo peremennoi dliny pritsepa [Trailer variable length towing device]. Patent 154569 Rossiiskaia Federatsiia no. 2015109136 (2015).
13. Troianovskaia I.P. Metodologiiia modelirovaniia krivolineinogo dvizheniia traktornykh agregatov [Methodology of modeling the curvilinear motion of tractor units]. Doctor's degree dissertation. Cheliabinsk, 2011, 296 p.

14. Gladov G.I. Osnovy teorii krivolineinogo dvizheniia i proektirovaniia sistem upravleniia povоротom bol'shegruznykh transportno-tekhnologicheskikh agregatov [Fundamentals of the theory of curvilinear motion and design of turn control systems for heavy-duty transport and technological units]. Abstract of Doctor's degree dissertation, Moskva, 1998, 40 p.

15. Kryshen' N.I. Analiticheskii metod opredeleniia ugla skladyvaniia avtopoezda [Analytical method for determining the folding angle of a road train]. *Avtomobil'naia promyshlennost'*, 1979, no. 3, p.p. 24–26.

Об авторах

Строганов Юрий Николаевич (Екатеринбург, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и роботы» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, e-mail: iu.n.stroganov@urfu.ru).

Пампура Елена Михайловна (Екатеринбург, Россия) – старший преподаватель кафедры «Высшая математика» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, e-mail: e.m.pampura@urfu.ru).

About the authors

Iurii N. Stroganov (Yekaterinburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Lifting and Transport Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19, Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation, e-mail: iu.n.stroganov@urfu.ru).

Elena M. Pampura (Yekaterinburg, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19, Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation, e-mail: e.m.pampura@urfu.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Поступила: 09.04.2023

Одобрена: 18.04.2023

Принята к публикации: 20.04.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Строганов, Ю.Н. О влиянии тягово-сцепного устройства с изменяемой длиной дышла прицепа на кинематические характеристики автотракторного поезда / Ю.Н. Строганов, Е.М. Пампура // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 2. – С. 5–13. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.01

Please cite this article in English as: Stroganov Iu.N., Pampura E.M. On the influence of a trailer hitch with a variable drawbar length on the kinematic characteristics of an auto tractor train. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 2, pp. 5-13. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.01