

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2

К вопросу оптимизации ширины транспортного коридора многозвенных тракторно-транспортных поездов при движении по дорогам сельскохозяйственного назначения

Алексей Николаевич Кушнарев, Сергей Васильевич Щитов, Евгений Евгеньевич Кузнецов
Дальневосточный ГАУ

Аннотация. Основным сдерживающим фактором, влияющим на эффективность выполнения транспортных работ многозвенными транспортными поездами в Амурской области, служат условия обеспечения безопасности движения. Это объясняется тем, что объём перевозимого груза во многом определяется количеством используемых при этом агрегируемых звеньев (прицепов). Тягово-сцепные качества современных колёсных энергетических средств (тракторов) позволяют агрегирование трактора несколькими прицепными звеньями одновременно, однако увеличение транспортного коридора при повороте в реальных условиях эксплуатации не позволяет реализовать потенциально заложенные в них заводом-изготовителем возможности. Решить данную отраслевую задачу в создавшихся условиях возможно за счёт использования новых технических решений, направленных на оптимизацию ширины транспортного коридора многозвенных транспортных поездов при движении по дорогам сельскохозяйственного назначения. Проведённые исследования показали, что оптимизацию ширины транспортного коридора многозвенного транспортного поезда возможно обеспечить за счёт автоматической корректировки точки соединения энергетического средства и прицепных звеньев (прицепов). В работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению влияния точки горизонтального расположения тягово-сцепного устройства энергетического средства и агрегируемых звеньев (прицепов) на ширину транспортного коридора в повороте.

Ключевые слова: энергетическое средство, транспортный коридор, радиус поворота, прицепное звено, тягово-сцепное устройство, многозвенный тракторно-транспортный поезд.

Для цитирования: Кушнарев А.Н., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. К вопросу оптимизации ширины транспортного коридора многозвенных тракторно-транспортных поездов при движении по дорогам сельскохозяйственного назначения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 129–133.

Original article

On the issue of optimizing the width of the transport corridor of multi-link tractor-transport trains when driving on agricultural roads

Alexey N. Kushnarev, Sergey V. Shchitov, Evgeny E. Kuznetsov
Far Eastern State Agrarian University

Abstract. The main limiting factor affecting the efficiency of transport operations by multi-link transport trains in the Amur Region is the conditions for ensuring traffic safety. This is due to the fact that the volume of the transported cargo is largely determined by the number of aggregated links (trailers) used in this case. The traction and coupling qualities of modern wheeled power tools (tractors) allow the tractor to be aggregated with several trailed links at the same time, however, the increase in the transport corridor when turning in real operating conditions does not allow the manufacturer to realize the potential inherent in them. It is possible to solve this branch problem in the current conditions through the use of new technical solutions aimed at optimizing the width of the transport corridor of multi-link transport trains when moving on agricultural roads. The studies carried out have shown that the optimization of the width of the transport corridor of a multi-link transport train can be ensured by automatically adjusting the connection point of the power unit and trailer links (trailers). The paper presents the results of theoretical and experimental studies to determine the influence of the point of horizontal location of the towing device of the power plant and the aggregated links (trailers) on the width of the transport corridor in the turn.

Keywords: energy vehicle, transport corridor, turning radius, trailer link, trailer, towing hitch, multi-link tractor-transport train.

For citation: Kushnarev A.N., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. On the issue of optimizing the width of the transport corridor of multi-link tractor-transport trains when driving on agricultural roads. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 87(1): 129–133. (In Russ.).

Отличительной особенностью эксплуатации многозвенных транспортных поездов является необходимое выполнение нормативных требований, предъявляемых к обеспечению безопасности их движения по дорогам общего пользования [1, 2]. При этом основной причиной при решении данного вопроса является отсутствие технического решения, не представленного как в современном уровне техники, так и в линейке производимой продукции дополнительных устройств, предлагаемых к продаже предприятиями-изготовителями, позволяющего автоматически корректировать траекторию движения идущих вслед за энергетическим средством прицепных звеньев.

Материал и методы. На основании проведенных ранее исследований [3–5] и предложений авторов [6, 7] установлено, что комплексное решение обозначенной задачи возможно за счёт применения не одного, а двух устройств, устанавливаемых последовательно как на трактор, так и на первое звено (прицеп) тракторно-транспортного поезда (ТТП), что позволит индивидуально корректировать параметры поворота агрегируемых звеньев транспортного агрегата. Первое устройство – гидрорегулируемое буксирное устройство колёсного трактора в виде тягово-сцепного устройства (ТСУ) с горизонтально-изменяемой точкой агрегирования, на которое получен патент РФ на изобретение № 2728162 [8] установлено непосредственно в кормовой части энергетического средства и предназначено для обеспечения смещения точки

сцепления первого звена ТТМ (прицепа) с трактором (рис. 1). Второе устройство предназначено для того, чтобы автоматически корректировать горизонтальное перемещение точки сцепления первого и второго звеньев (прицепов) (рис. 2), на конструкцию предлагаемого устройства получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Особенность работы устройства, позволяющего автоматически корректировать горизонтальное перемещение точки сцепления первого и второго звеньев (прицепов), заключается в том, что оно автоматически регулирует прохождение поворота с обеспечением необходимой ширины коридора без вмешательства водителя (оператора трактора).

Для обоснования движения транспортного поезда в повороте рассмотрим поворот ТТМ как процесс, происходящий в двух стадиях:

– смещение точки соединения энергетического средства (трактора) и дышла первого звена (прицепа);

– смещение точки соединения ТСУ первого звена (прицепа) и дышла второго звена (прицепа).

Таким образом, общая ширина H_0 транспортного коридора будет складываться из двух составляющих:

$$H_0 = H_1 + H_2, \quad (1)$$

где H_1 и H_2 – соответственно ширина транспортного коридора первого и второго звена (прицепа), м.

На основании проведенных теоретических исследований [9, 10] получены зависимости,

позволяющие определить ширину транспортного коридора при выполнении поворота.

В результате смещения точки крепления прицепа во внешнюю сторону поворота трактора увеличивается внутренний радиус поворота прицепа на величину:

$$R_{\text{впз}} = R_{\text{вп}} + Б, \quad (2)$$

где $R_{\text{вп}}$ – внутренний радиус поворота второго прицепа, м;

$Б$ – расстояние перемещения точки соединения энергетического средства и первого прицепа, м.

При этом транспортная ширина коридора с установленным устройством будет равна:

$$H_1 = R_{\text{нт}} - R_{\text{вп}} = R_{\text{нт}} - (R_{\text{вп}} + Б). \quad (3)$$

Расстояние перемещения точки соединения энергетического средства и первого звена (прицепа) предлагается определять по выражению:

$$Б = 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha. \quad (4)$$

В результате сдвига точки сцепления прицепа к трактору транспортная ширина коридора будет равна:

$$H_1 = R_{\text{нт}} - R_{\text{вп}} = R_{\text{нт}} - (R_{\text{вп}} + Б). \quad (5)$$

С учётом выражения (5) ширина транспортного коридора будет равна:

$$H_1 = R_{\text{нт}} - R_{\text{вп}} = R_{\text{нт}} - (R_{\text{вп}} + 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha). \quad (6)$$

В результате сдвига точки соединения первого и второго прицепов ширину транспортного коридора возможно найти по выражению:

$$H_2 = R_{\text{н}} - (R_{\text{в}} + L_1), \quad (7)$$

где L_1 – расстояние перемещения точки соединения первого и второго прицепа, м.

Расстояние перемещения точки соединения энергетического средства и первого прицепа равно:

$$L_1 = R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2}, \quad (8)$$

где a и b – точки, ограничивающие длину дуги при работе устройства;

R – радиус поворота буксирно-догружающего устройства относительно точки сцепления трактора и первого прицепа, м.

Таким образом, с учётом выражения (8) ширина транспортного коридора будет равна:

$$H_2 = R_{\text{н}} - \left(R_{\text{в}} + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \right). \quad (9)$$



Рис. 1 – Устройство для смещения точки сцепления трактора и первого звена (прицепа)



Рис. 2 – Устройство для смещения точки сцепления первого звена (прицепа) и второго звена (прицепа)

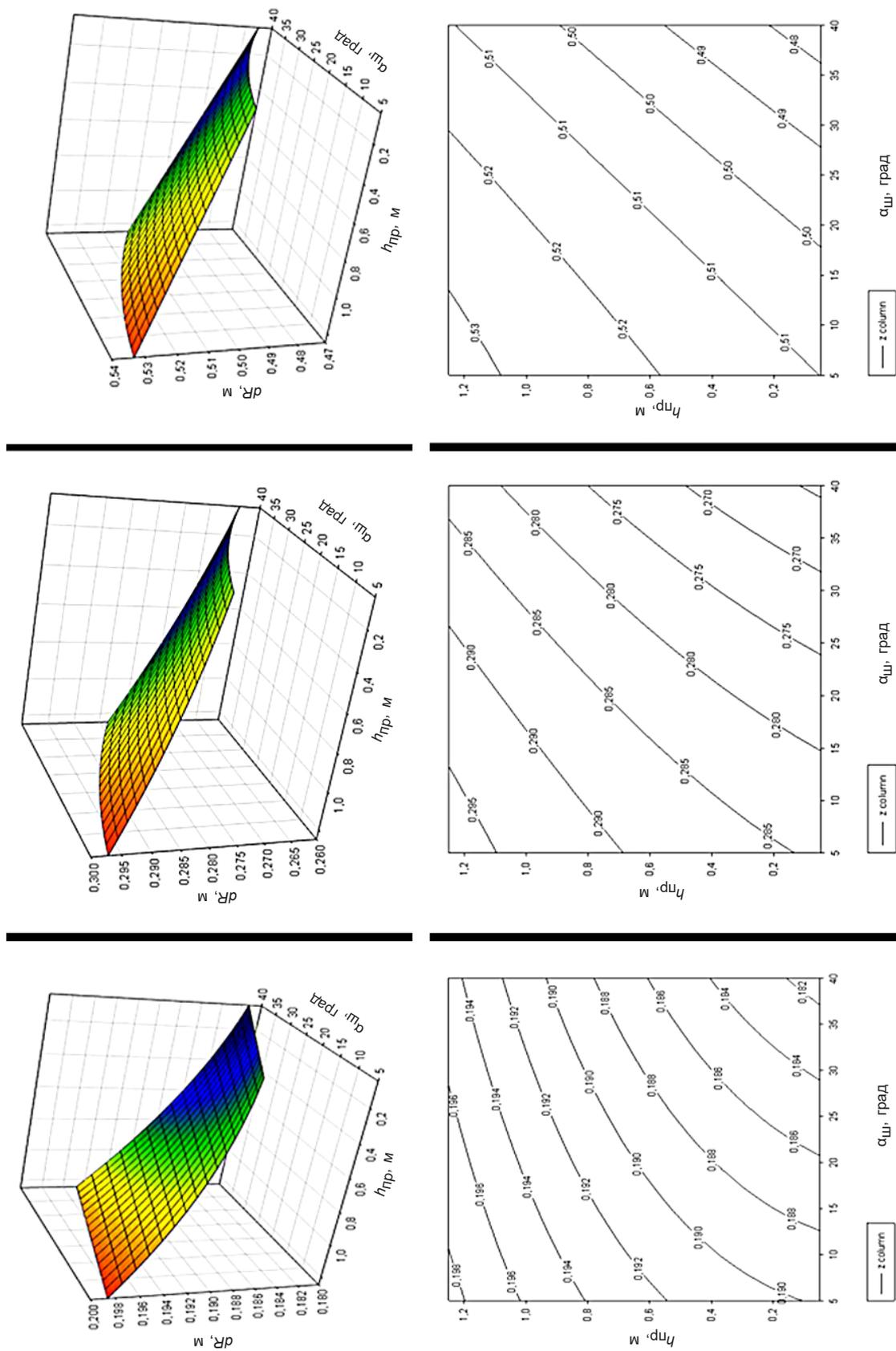


Рис. 3 – Поверхность и сечение поверхности отклика изменения радиуса поворота ТПП в зависимости от изменения конструктивно-технологических параметров устройства

На основании вышеизложенных зависимостей общая ширина транспортного коридора при установленных корректирующих устройствах будет равна:

$$H_o = H_1 + H_2 = R_{нт} - (R_{вт} + 2R(\varphi_2 - \varphi_1)\cos\alpha) + R_n - \left(R_b + R \arccos \frac{ab + \sqrt{(R^2 - b^2) \cdot (R^2 - a^2)}}{R^2} \right). \quad (10)$$

Результаты исследования. Анализ формулы (10) показывает, что снизить ширину транспортного коридора возможно за счёт смещения точек соединения транспортного агрегата.

Для проверки полученных теоретических данных были проведены экспериментальные исследования на основании методик [11], результаты которых представлены на рисунке 3 в виде 3-D графиков, где – $\alpha_{ш}$ угол поворота план-шайбы, установленной между трактором и первым звеном (прицепом), град; $\alpha_{д}$ – угол поворота дышла прицепа, град; $h_{пр}$ – длина выхода штока гидроцилиндра, м.

Для определения оптимальных значений факторов и уравнений регрессии были использованы специализированные программы «SigmaPlot 11.0» и «Компас 3D V16».

По полученным результатам можно сделать **вывод** о том, что использование устройств для смещения точек соединения звеньев ТТП позволяет оптимизировать ширину транспортного коридора и выполнить необходимые требования безопасности при движении транспортного поезда в повороте.

Литература

1. Алдошин Н.В., Пехутов А.С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.
2. Гуськов Ю.А. Совершенствование сборочно-транспортного процесса и технических средств на

заготовке грубых кормов: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2007. 211 с.

3. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография. Благовещенск, 2017. 272 с.

4. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колёсных мобильных энергетических средств: монография / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов, Е.С. Поликутина [и др.]. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. 148 с.

5. Худовец В.И., Щитов С.В., Использование многосных энергетических средств класса 1,4: монография. Благовещенск, 2013. 153 с.

6. Методологическое обоснование выбора конструкции устройств рационального перераспределения сцепного веса / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов [и др.] // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». 2016. № 2 (24). 24 с.

7. Increasing the shallowness of the wheeled tractors / Shchitov S.V., Tikhonchuk P.V., Bumbar I.V. et al. // Journal of Mechanical Engineering. 2018, 41(2): 31–34.

8. Пат. на изобретение № 2728162 Рос. Федерация. Гидрорегулируемое буксирное устройство колёсного трактора / Щитов С.В., Кузнецов Е.Е.; заяв. и патентообл. Дальневосточный гос. агр. университет; заявка № 2018114603, заявл. 13.07.2018, зарегистр. 13.07.2018, опубл. 28.07.2020; Бюл. № 22. 10 с.

9. Кушнарев А.Н., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф. Способ корректирования траектории движения сельскохозяйственного транспортно-технологического комплекса // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. труд. по итогам междунар. науч.-практич. конф. (11 апреля 2019 г.). Вып. VI. Самара, 2019. С. 23–26 [Электронный ресурс]. URL: http://izron.ru/upload/iblock/faa/sbornik_tekhnicheskie-nauki-g.-samara-2019_szhatyy.pdf

10. Кушнарев А.Н., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф. Совершенствование использования многосвязных тракторно-транспортных поездов // Техника и оборудование для села. 2020. № 6 (276). С. 14–17.

11. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

Алексей Николаевич Кушнарев, аспирант. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, leha.kushnarev.79@gmail.com

Сергей Васильевич Щитов, доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, shitov.sv1955@mail.ru

Евгений Евгеньевич Кузнецов, кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, ji.tor@mail.ru

Alexey N. Kushnarev, postgraduate. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, leha.kushnarev.79@gmail.com

Sergey V. Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, shitov.sv1955@mail.ru

Evgeny E. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, ji.tor@mail.ru