

Дисперсионный анализ управляемости многозвенного тракторного поезда в произвольном повороте

Кушнарев Алексей Николаевич, аспирант
Шуравин Александр Александрович, аспирант
Кузнецов Константин Евгеньевич, магистрант
Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор
Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент
Дальневосточный государственный аграрный университет

Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур является актуальной задачей современного агрокомплекса. Особенно данный вопрос касается небольших крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), где количество мобильных энергетических средств (тракторов) ограничено их высокой стоимостью, и которые имеют в своём парке в основном колёсные тракторы тягового класса 1,4-2[1,2].

Решение означенной задачи возможно за счёт повышения производительности и многофункциональности использования этих тракторных единиц.

Особенно остро вопрос использования колёсных тракторов невысоких классов тяги наблюдается при проведении ранневесенних сельскохозяйственных работ и при уборке урожая, когда проведение данных работ ограничено природно-климатическими условиями[7].

В технологии возделывания сельскохозяйственных культур высокая доля трудоёмкости приходится на выполнение транспортных работ, а именно от 50% до 75% от всех видов применяемых работ [10]. Таким образом, повысить производительность, а следовательно эффективность их использования возможно за счёт их применения на транспортных работах в составе многозвенных тракторно-транспортных поездов (МТП), то есть состоящих из агрегируемого трактора и нескольких прицепных звеньев-прицепов. Основной проблемой в этом случае является соблюдение безопасности транспортных коридоров, а при выполнении поворотов в частности.

Задачей проведенных исследований являлось снижение величины буксования и увеличение тягового усилия трактора в повороте, а также достижение возможности регулирования траектории движения и корректирования ширины транспортного коридора третьего звена (прицепа) при движении МТП при применении следящих буксирно-распределяющих устройств. При этом предлагаемое устройство должно быть достаточно несложной конструкции, простым в изготовлении и эксплуатации, обладать высокой надёжностью и удобством в обслуживании.

На основании работ [11,12] техническим решением поставленной задачи явилось установка в тыльной части рамы третьего звена (прицепа) МТП буксирно-распределяющего устройства, которое способно регулировать положение тягово-сцепного (буксирного) устройства второго звена ТА (прицепа) в горизонтальной плоскости с одновременным перераспределением сцепного веса между ходовыми системами трактора и агрегируемых прицепов, а также корректирования ширины транспортного коридора второго прицепа[6] Принципиальная схема устройства представлена на рисунке1.

Схема работы устройства предложена на рисунке 2.

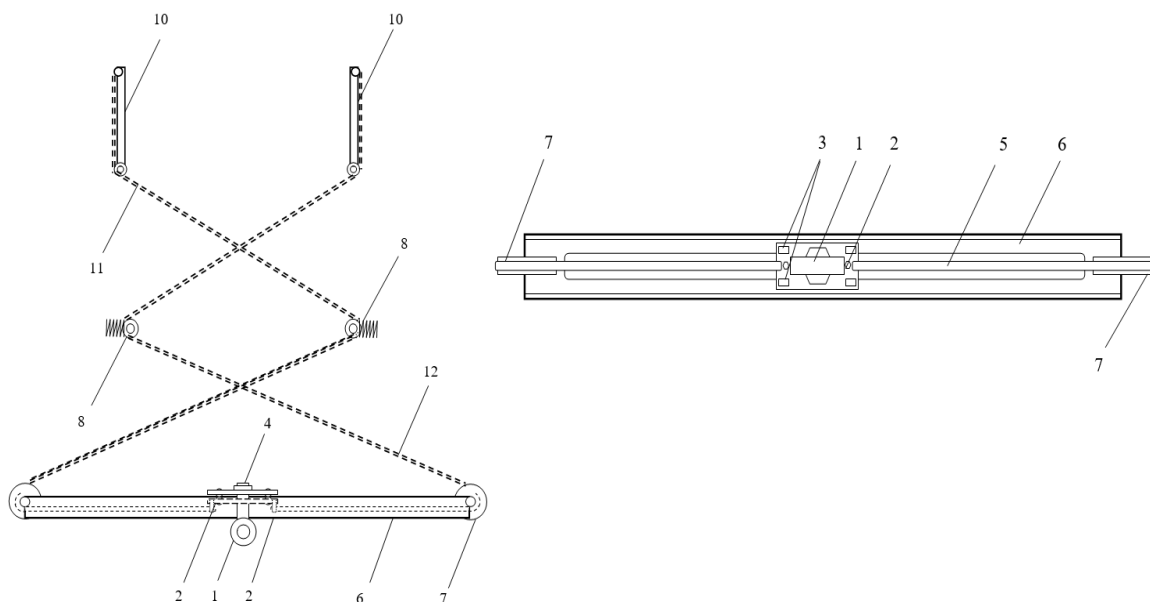


Рис.1.Принципиальная схема буксирно-распределяющего устройства

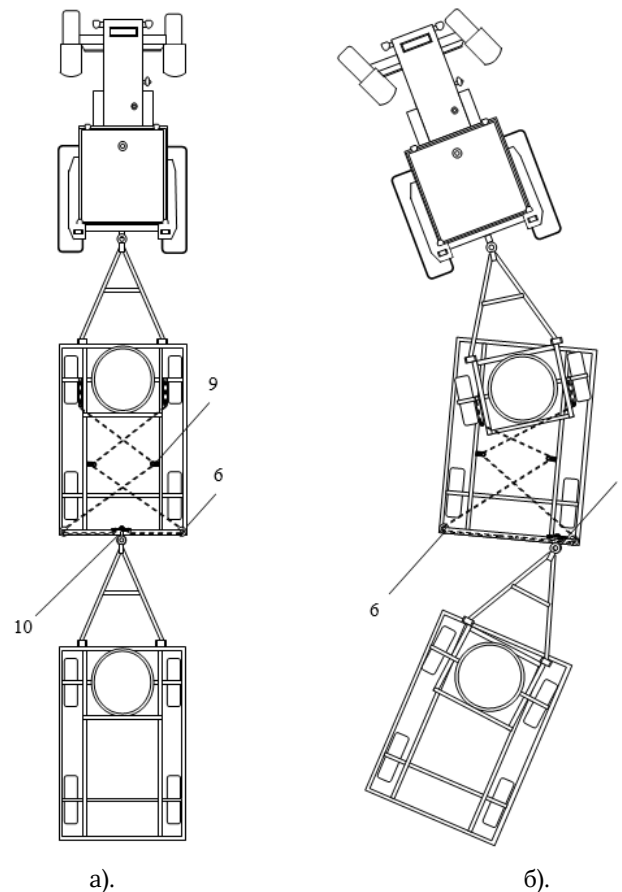


Рис.2. Схема работы буксирно-распределяющего устройства при движении многозвенного тракторно-транспортного агрегата: а). Прямолинейное равномерное движение МТТП; б). Движение МТТП в произвольном повороте

Предлагаемое буксирно-распределяющее устройство состоит из следующих конструктивных элементов: 1- разъёмное тягово-сцепное устройство; 2- крюковой фиксатор; 3-подвижный ролик; 4- гаечное соединение; 5- паз; 6- швеллерная балка; 7- направляющие шкивы; 8-натяжные блоки с пружинами; 9-рама прицепа; 10- установочный кронштейн; 11, 12-силовая тросовая связь и работает следующим образом. При передвижении транспортного агрегата, состоящего из буксирующего колёсного трактора и двух агрегируемых звеньев (прицепов), по дорогам и грунтам, при повороте рулевого колеса оператором трактора дышло первого прицепа начинает сдвигаться в сторону поворота дороги, при этом происходит перемещение поворотного круга и натяжение тросовой силовой связи 11 или 12 (в зависимости от осуществления стороны поворота), далее смещение троса производит силовое воздействие на крюковой фиксатор 2, натяжение и сдвигание тягово-сцепного устройства 1 в центральном продольном сквозном пазе 5 швеллерной балки 6 в сторону, противоположную повороту, на величину, равную углу поворота первого звена МТТП (прицепа).

Таким образом, за счёт изменения точки соединения звеньев в повороте происходит стабилизация движения и корректирование ширины транспортного коридора второго звена (прицепа) при движении МТТП, перераспределение сцепного веса в ходовой системе и догрузка звеньев (трактора, прицепов), что снижает буксование агрегируемого трактора за счёт догрузки движителей и увеличивает его тяговое усилие.

В продолжение ранее опубликованных исследований [8,9] был проведён дисперсионный анализ экспериментальных результатов управляемости многозвенного тракторного поезда в произвольном повороте. Исследования, проведённые в соответствии с методическими указаниями[3,4,5], показали эффективность конструкции предлагаемого устройства. При проведении исследований по влиянию на угол поворота двух факторов: угла поворота план-шайбы, установленной между трактором и первым прицепом и длиной выхода штока гидроцилиндра: при фиксированном значении угла поворота дышла прицепа при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_d = 17,5$ град., получены парные уравнения регрессии 2 степени, которые в раскодированном виде имеют следующий вид:

$$dR = 0,457 + 0,00348a_d + 0,0006a_{ш} + 0,087h_{np} - 0,0000646a_d a_{ш} - 0,004a_d h_{np} - 0,0006a_{ш} h_{np} + 0,000053a_d a_{ш} h_{np} - 0,00012a_d^2 - 0,000011a_{ш}^2. \quad (1)$$

$$dR = 0,512 - 0,00056\alpha_{ш} + 0,0018h_{np} + 0,00029\alpha_{ш} h_{np} - 0,00001a_{ш}^2. \quad (2)$$

где $\alpha_{ш}$ -угол поворота план-шайбы, установленной между трактором и первым прицепом, град; α_d - угол поворота дышла прицепа, град; h_{np} - длина выхода штока гидроцилиндра, м.

Полученные результаты позволили сформировать график зависимостей величин и сечение дисперсионной поверхности, предложенные на рисунке 3 и 4.

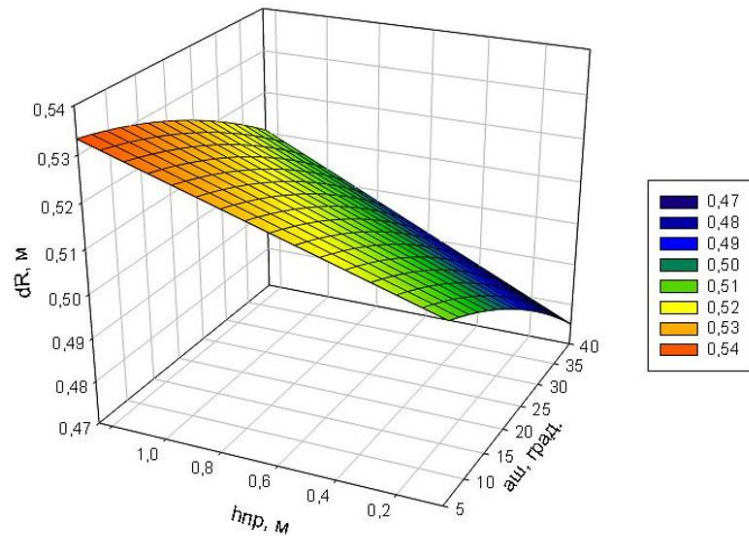


Рис.3. Поверхность отклика dR в зависимости от $аш$ и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_d = 17,5$ град.)

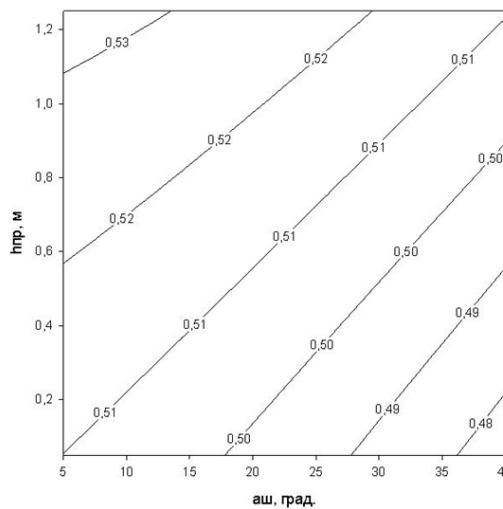


Рис.4. Сечение поверхности отклика dR в зависимости от $аш$ и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_d = 17,5$ град.)

При фиксированном значении угла поворота дышла прицепа при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_d = 22,5$ град., получены парные уравнения регрессии 2 степени, которые в раскодированном виде получили следующую форму:

$$dR = 0,464 + 0,002\alpha_d + 0,072h_{пр} - 0,0027\alpha_d h_{пр} - 0,00002\alpha_d^2 \quad (3)$$

Математические модели и сечение поверхности, построенные на основании полученных уравнений регрессии представлены на рисунках 5 и 6.

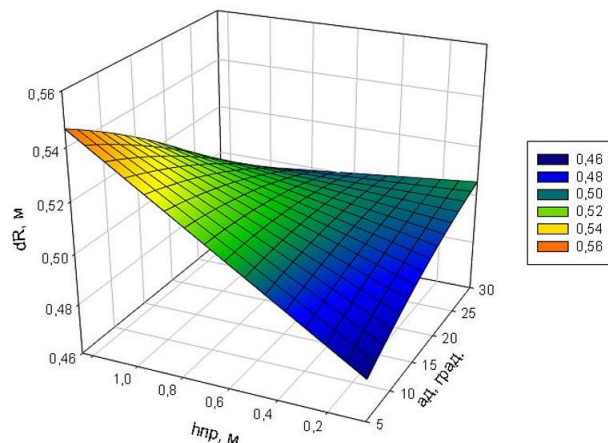


Рис.5. Поверхность отклика dR в зависимости α_d от и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $\alpha_d = 22,5$ град.)

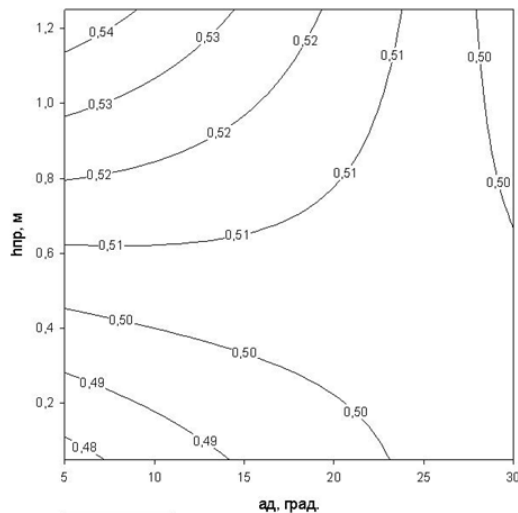


Рис.6 Сечение поверхности отклика dR в зависимости ад от и $h_{пр}$ (при зафиксированной на нулевом уровне $a_{ш} = 22,5$ град.)

Результаты дисперсионного анализ (рисунок 4...6) позволяют сделать вывод, что использование предложенного устройства позволяет корректировать радиус поворота тракторно-транспортного поезда за счёт обеспечения угла поворота план-шайбы установленной между трактором и первым прицепом в пределах 35..40 градусов, угла поворота дышла прицепа 25...30 градусов и длиной выхода штока гидроцилиндра 0...25 м. Полученные данные также показывают, что следящее буксирно-распределяющее устройство помогает произвести коррекцию движения МТПП в произвольном повороте в пределах выделенной полосы движения.

Литература:

1. Алдошин, Н.В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, Пехутов А.С. // 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: 05.20.01/ Гуськов Юрий Александрович. – Новосибирск, 2007. – 211 с.
3. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандартинформ, 2017. –39 с.
4. ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний».
5. ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы определения тяговых показателей»
6. Буксирно-распределяющее устройство многозвенного тракторно-транспортного агрегата/Щитов С.В, Кузнецов Е.Е.// Пат. на изобретение № 2613367 Рос. Федерация заявитель и патентообладатель Дальневосточный гос. агр. университет. заявл. 13.08.2015, зарегистрирована 13.08.2015, опубл. 16.03.2017 Бюл. № 8. 10 с.
7. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017.- 272 с.
8. Кушнарев, А.Н. Способ корректирования траектории движения сельскохозяйственного транспортно-технологического комплекса/ Кушнарев А.Н. Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф./ «Актуальные вопросы науки и техники», Выпуск VI, Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции (11 апреля 2019 г.).-Самара: 2019.- С.23-26. http://izron.ru/upload/iblock/faa/sbornik_tekhnicheskie-nauki-g-samara_-2019_szhatyu.pdf
9. Кушнарев, А.Н. Использование корректирующих элементов для формирования траектории безопасного движения сельскохозяйственного транспортно-технологического комплекса/ Кушнарев А.Н., Марков С.Н., Гончарук А.И., Поликутина Е.С./ 62я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения «Актуальные вопросы развития науки в мире» / Сборник научных работ 62 й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, апрель 2020). -№ 4(62). – Москва: ЕНО, 2020. –С.106-108 <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2020/05/esa-april-2020-part2.pdf>
10. Худовец В.И., Щитов С.В., Использование многоосных энергетических средств класса 1,4: Монография. ДальГАУ. – Благовещенск. – 2013. – 153 с.
11. Щитов, С.В. 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.
12. Increasing The Shallowness Of The Wheeled Tractors / Shchitov SV, Tikhonchuk PV, Bumbar IV, Krivuca ZF, SamuiloVv, Yakimenko AV, Mitrokhina OP / Journal of Mechanical Engineering. -1752. 41 (2) (2018) p. 31-34 Website: <https://jmerd.org.my/Paper/2018%2C%20VOLUME%20%2C%20ISSUE%20/31-34.pdf>