

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

Андрей Викторович Ворохобин
Сергей Иванович Коржов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Одной из актуальных проблем современного сельскохозяйственного производства является недостаточно эффективная работа известных мобильных энергетических средств (МЭС). Это связано, прежде всего, с низкими тягово-цепными свойствами, снижением топливной экономичности и производительности МЭС в реальных условиях эксплуатации, а также с чрезмерным уплотнением почвы. Все эти показатели объединяются под общим понятием «эксплуатационные свойства». При работе гусеничного трактора происходит постоянное изменение положения центра тяжести, что приводит к увеличению потерь на качение, нерациональному распределению нагрузки по опорной поверхности гусеничного движителя, увеличению уплотняющего воздействия движителя на почву. Проведенный анализ вариантов распределения давления гусеничного движителя по опорной поверхности показал, что в процессе работы трактора форма эпюры давления меняется в широких пределах, что оказывает существенное влияние на его эксплуатационные показатели. Для поддержания неизменного положения центра давления ($X_D = 0$) необходимо обеспечить регулируемое положение центра тяжести трактора. Рассмотрены теоретические предпосылки по регулированию положения центра тяжести гусеничного трактора путем регулирования положения балластного груза. Получены зависимости для определения продольной координаты центра тяжести для случаев прицепного и навесного агрегатирования гусеничного трактора. Анализ полученных зависимостей подтвердил возможность широкого изменения продольной координаты центра тяжести при регулируемом положении балластного груза. Предложено техническое решение для реализации автоматического регулирования положения центра тяжести, которое позволяет повысить тягово-цепные свойства гусеничного трактора, его производительность и топливную экономичность (в зависимости от условий работы), а также снизить степень уплотнения почвы и образование колес.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гусеничный трактор, центр тяжести, центр давления, тягово-цепные свойства, уплотнение почвы, балластный груз, регулирование.

ENHANCEMENT OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A CRAWLER TRACTOR BY ADJUSTING ITS CENTER OF GRAVITY

Andrey V. Vorokhobin
Sergey I. Korzhov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

One of the current problems of modern agricultural production is the lack of efficient operation of the existing mobile power facilities (MPF). This is primarily due to low traction properties, reduced fuel efficiency and performance of MPF in actual operating conditions, as well as excessive soil compaction. All these parameters are combined under the general concept of «operational properties». When a crawler tractor is in operation, there is a constant change in the center of gravity position, which leads to an increase in rolling losses, inefficient load distribution on the supporting surface of the crawler unit, and an increase in the compacting effect of the drive on the soil. The authors analyzed the options for distributing the pressure of the crawler unit over the supporting surface and determined that during the operation of the tractor the shape of the pressure profile varies widely, which has a significant impact on its performance. To maintain a constant position of the pressure center ($X_D = 0$) it is necessary to ensure the adjustable position of the center of gravity of the tractor. The authors have considered the theoretical background for adjusting the center of gravity of a crawler tractor by adjusting the position of the ballast load. Dependences were obtained for determining the longitudinal coordinate of the center of gravity for the cases of trailed and mounted aggregation of a crawler tractor. The analysis of the obtained dependences confirmed the possibility of a wide change in the longitudinal coordinate of the center of gravity with the adjustable position of the ballast load. A technical solution has been proposed for implementing an automatic control of the position of the center of gravity. It allows increasing the traction parameters of a crawler tractor, improving its performance and fuel efficiency (depending on the operating conditions), and reducing the degree of soil compaction and formation of ruts.

KEYWORDS: crawler tractor, center of gravity, center of pressure, traction properties, soil compaction, ballast load, adjustment.

Основными направлениями совершенствования и развития тракторной техники являются повышение производительности и экономической эффективности, увеличение надежности и энергонасыщенности, снижение расхода топлива, улучшение условий труда и защита окружающей среды, применение средств автоматизации, роботизации и интеллектуализации.

Современный трактор представляет собой мобильное энергетическое средство, предназначенное для выполнения большого количества производственных операций. Кроме того, значительно возросло многообразие типов и марок машин, используемых в современных сельскохозяйственных технологических процессах. Большинство из этих машин, особенно используемых для поверхностной и основной обработки почвы, являются тяжелыми навесными машинами, работа с которыми приводит к перераспределению вертикальных нагрузок на опоры агрегата. Для колесных тракторов – это перераспределение между колесами, а для гусеничных тракторов – изменение положения центра тяжести. Все это является ключевым моментом при рассмотрении вопросов улучшения тягово-сцепных свойств как колесных, так и гусеничных мобильных энергетических средств.

Гусеничные тракторы в сравнении с колесными имеют ряд существенных преимуществ: они обладают лучшими тяговыми возможностями, более высокой проходимостью и грузоподъемностью навесных устройств, их ходовая система оказывает меньшее негативное воздействие на почву и др. Однако при работе этих тракторов с различными сельскохозяйственными машинами происходит постоянное изменение положения центра тяжести, что приводит к увеличению потерь на качение, нерациональному распределению нагрузки по опорной поверхности гусеничного движителя и, как следствие, снижает его тягово-сцепные свойства, повышает уплотняющее воздействие движителя на почву, способствует образованию колеи [2, 10].

В связи с этим актуальным является обоснование целесообразности регулирования положения центра тяжести гусеничного трактора для обеспечения рационального распределения нагрузки по опорной поверхности его движителя.

По результатам опубликованных исследований, проведенных различными авторами, показано, что на тягово-сцепные свойства гусеничного трактора существенное влияние оказывает положение его центра тяжести. Причем это влияние ощутимо проявляется на всех типах грунтов и почв [1, 3, 5].

Также установлено, что коэффициент сопротивления качению и буксование гусеничного движителя увеличиваются в 1,5 раза при смещении центра тяжести назад от середины его опорной поверхности [5].

Известно, что давление по длине гусеницы распределено неравномерно. Неравномерность зависит от типа подвески, числа опорных катков и расстояния между ними, шага и натяжения гусеницы, силы тяги на крюке, положения центра тяжести трактора и скорости движения.

Рассмотрим возможные варианты эпюр распределения давления гусеничного движителя по опорной поверхности (рис. 1).

Одним из показателей, который влияет на данное распределение, является положение центра давления (точка D). Центр давления – это точка приложения результирующей нормальных реакций почвы Y на опорную поверхность. Наилучшим расположением точки D считается середина опорной поверхности гусеничного движителя [4, 8, 9]. В этом случае наблюдается равномерный характер распределения ($X_D = 0$).

Эпюра давлений представляет собой прямоугольник. При $X_D > 0$ и $X_D < 0$ эпюра распределения приобретает форму трапеции, а при $X_D = (1/6)L$ – форму прямоугольного треугольника.

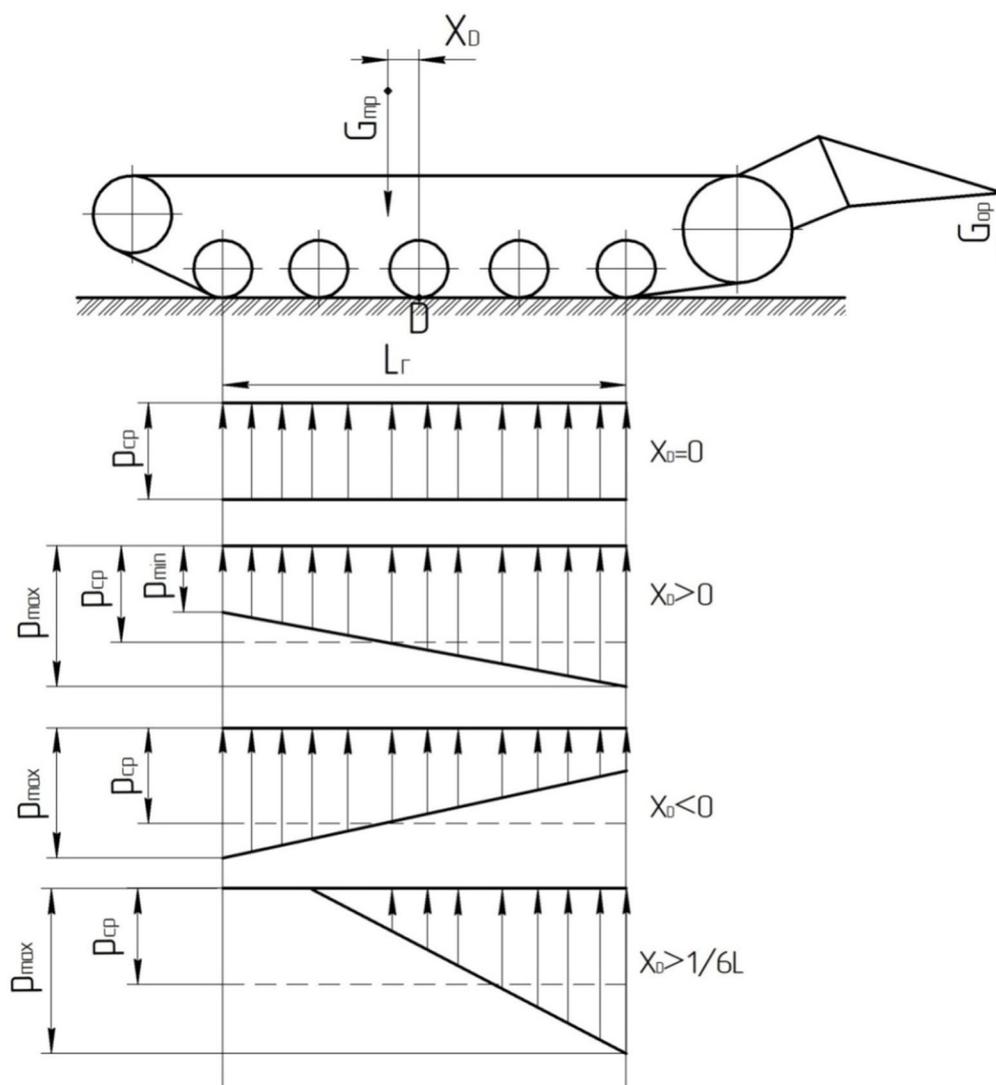


Рис. 1. Эпюры давлений на почву гусеничных тракторов при различном положении центра давления

В том случае, когда $X_D = 0$, то есть при совпадении центра давления с серединой опорной поверхности гусеничного движителя, максимальное давление на почву равно среднему давлению $p_{max} = p_{ср}$. При этом трактор наилучшим образом развивает свои тягово-сцепные свойства и оказывает минимальное вредное воздействие на почву. Для всех других вариантов распределения $p_{max} > p_{ср}$.

Самым критичным считается вариант, при котором центр давления максимально смещен назад: $X_D = (1/6)L$. В этом случае часть опорной поверхности гусеничного движителя не участвует в передаче веса трактора почве, что приводит к чрезмерному уплотнению почвы и образованию колеи [6].

Таким образом, проведенный анализ вариантов распределения давления гусеничного движителя по опорной поверхности показал, что в процессе работы трактора форма эпюры давления меняется в широких пределах, что оказывает существенное влияние на его эксплуатационные показатели.

Для улучшения эксплуатационных показателей гусеничного трактора, а именно повышения его тягово-сцепных свойств, производительности и топливной экономичности, а также снижения степени уплотнения почвы и образования колеи, в процессе эксплуатации необходимо добиваться неизменного положения центра давления при

любом значении нагрузки. Достичь этого можно путем регулирования положения центра тяжести трактора.

Рассмотрим общий случай движения, когда гусеничный трактор движется ускоренно на подъем с углом α наклона поверхности к горизонтالي. Особенностью гусеничного трактора является возможность регулирования положения балластного груза, расположенного спереди (рис. 2).

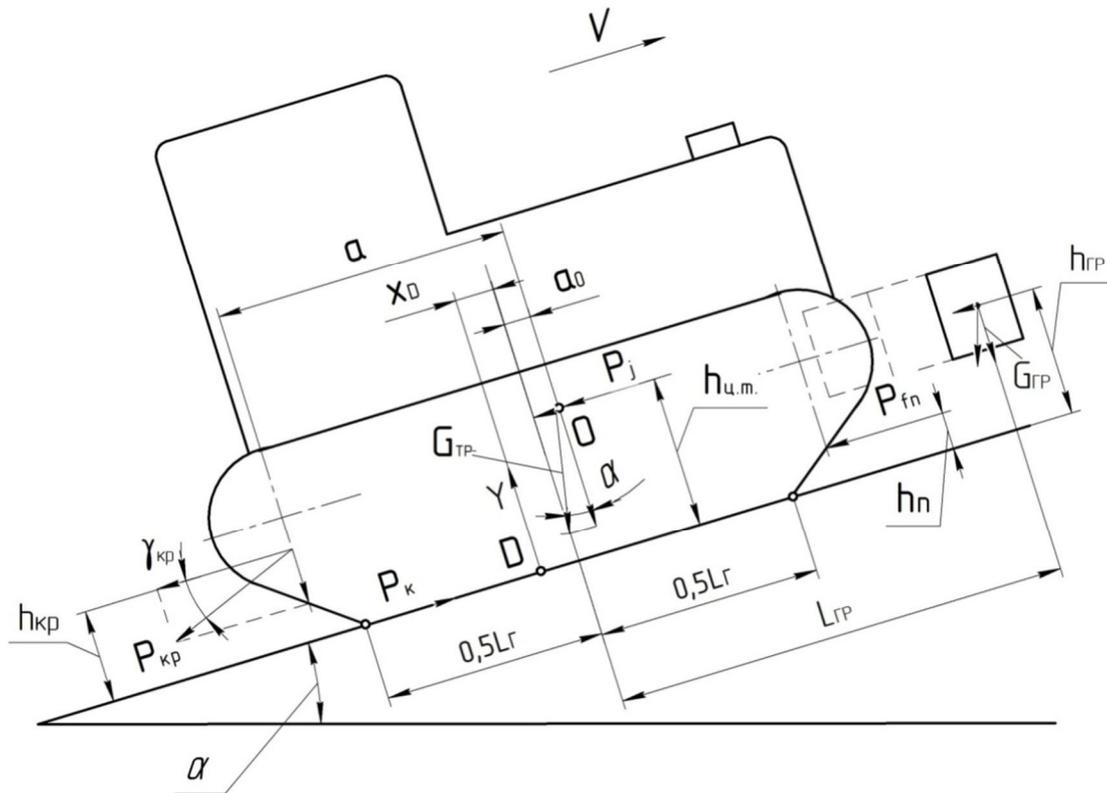


Рис. 2. Схема сил, действующих на гусеничный трактор в общем случае движения

Сопротивлением воздуха, моментами касательных сил инерции вращающихся деталей трансмиссии и двигателя, посаженных на поперечные валы, а также движущихся звеньев гусеничных цепей пренебрегаем.

Для упрощения рисунка в качестве опорной поверхности гусениц принята плоскость, в которой действует касательная сила тяги P_k .

В общем случае центр давления D не совпадает с серединой опорной длины гусениц [2], поэтому продольное расстояние X_D от указанной середины до центра давления и есть смещение центра давления.

Положение центра тяжести гусеничного трактора (точка O) можно регулировать изменением положения балластного груза, регулируя расстояние $L_{гр}$.

Смещение центра давления X_D определяется в соответствии с уравнением моментов относительно точки D , полученным после преобразований (для случая равномерного движения трактора на горизонтальном участке)

$$X_D = \frac{P_{кр} (h_{кр} \cdot \cos \gamma_{кр} + a \cdot \sin \gamma_{кр}) - G_{гр} L_{гр} + M_f}{G_{тр} + P_{кр} \sin \gamma_{кр} + G_{гр}} - a_0, \quad (1)$$

где $P_{кр}$ – усилие на крюке трактора;

$h_{кр}$ – вертикальная координата условной точки прицепа;

$\gamma_{кр}$ – угол приложения условной точки прицепа;

a – продольная координата центра тяжести трактора;

$G_{тр}$, $G_{гр}$ – соответственно вес трактора и балластного груза;

$L_{гр}$ – расстояние от середины опорной поверхности гусеницы до точки приложения веса балластного груза;

M_f – момент сопротивления качению трактора, $M_f = P_{fn} \cdot h_{п}$;

a_0 – расстояние от середины опорной поверхности гусеницы до точки расположения центра тяжести трактора.

Анализ зависимости (1) показывает, что, регулируя положение координаты a_0 , можно обеспечить неизменное положение центра давления и, следовательно, рациональную эпюру давления, лучшие тягово-сцепные свойства и минимальное негативное воздействие на почву.

Регулирование координаты a_0 обеспечивается изменением положения балластного груза, расположенного спереди трактора, при автоматическом изменении расстояния $L_{гр}$ в зависимости от условий работы.

Для обеспечения неизменного положения центра давления координата a_0 должна изменяться в соответствии с зависимостью (2):

$$a_0 = \frac{P_{кр}(h_{кр} \cdot \cos\gamma_{кр} + a \cdot \sin\gamma_{кр}) + G_{гр}L_{гр} + M_f}{G_{тр} + P_{кр}\sin\gamma_{кр} + G_{гр}} \quad (2)$$

На рисунке 3 представлена зависимость изменения координаты a_0 от усилия на крюке трактора $P_{кр}$ для различного положения балластного груза. Линия 1 соответствует изменению координаты a_0 от усилия на крюке трактора $P_{кр}$ без балластного груза, а линии 2, 3 и 4 – с балластным грузом и регулированием $L_{гр}$.

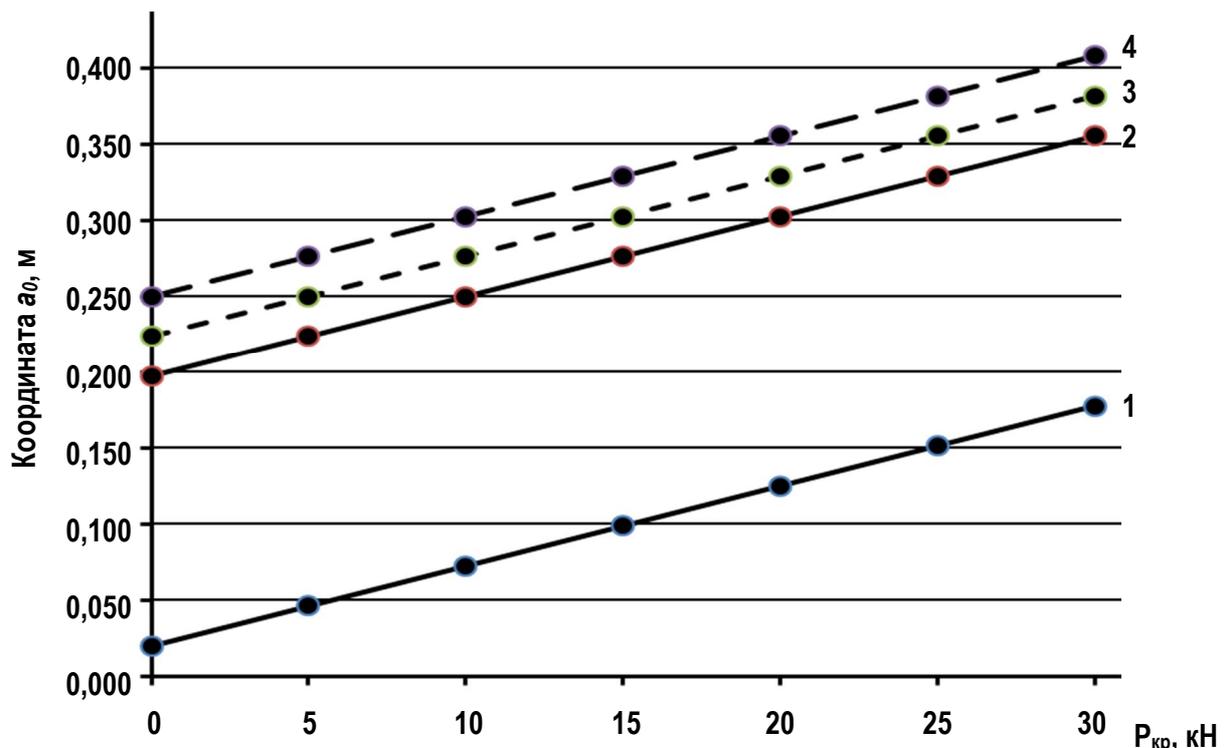


Рис. 3. Зависимость изменения координаты a_0 от усилия на крюке трактора $P_{кр}$ при различных положениях балластного груза: 1 – без балластного груза; 2 – с балластным грузом и $L_{гр} = 1,35$ м; 3 – с балластным грузом и $L_{гр} = 1,55$ м; 4 – с балластным грузом и $L_{гр} = 1,75$ м

Представленная зависимость подтверждает возможность широкого изменения продольной координаты a_0 при регулируемом положении балластного груза. Это, в свою очередь, позволит обеспечить неизменное положение центра давления независимо от условий работы.

При работе гусеничного трактора с навесными машинами посредством задней навески смещение центра давления можно определить по следующей зависимости (для статического состояния тракторного агрегата, но при рабочем положении навесного орудия):

$$X_D = \frac{G_{op}(a_{op} + a) - G_{гр}L_{гр} + M_f}{G_{тр} + G_{op} + G_{гр}} - a_0, \quad (3)$$

где G_{op} – вес навесного орудия;

a_{op} – расстояние от оси ведущей звездочки до центра тяжести навесного орудия;

a – продольная координата центра тяжести трактора;

$G_{тр}, G_{гр}$ – соответственно вес трактора и балластного груза;

$L_{гр}$ – расстояние от середины опорной поверхности гусеницы до точки приложения веса балластного груза;

M_f – момент сопротивления качению трактора, $M_f = P_{фн} \cdot h_n$;

a_0 – расстояние от середины опорной поверхности гусеницы до точки расположения центра тяжести трактора.

Решая уравнение (3), можно получить, что смещение центра давления X_D навесного тракторного агрегата изменяется в значительных пределах в зависимости от силового воздействия орудия (рис. 4).

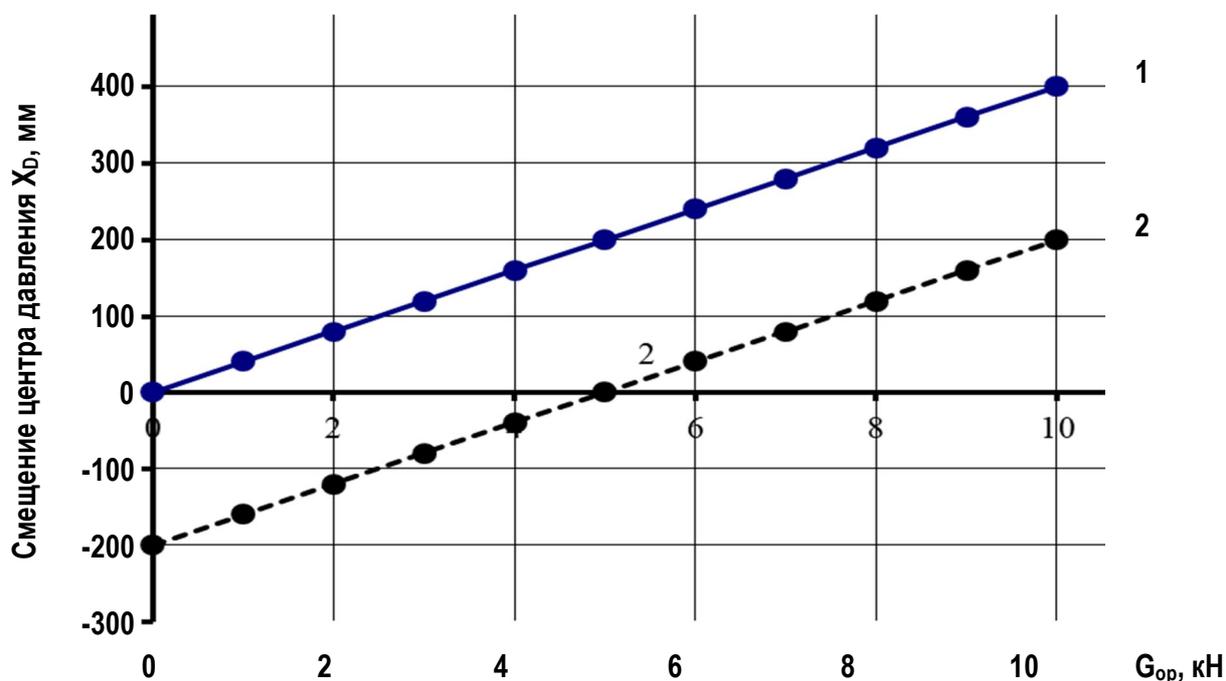


Рис. 4. Зависимость смещения центра давления от силового воздействия навесного орудия: 1 – $a_0 = 0$; 2 – $a_0 = \text{const}$

На рисунке 4 видно, что в зависимости от силового воздействия навесного орудия центр давления может существенно смещаться относительно середины опорной поверхности гусениц трактора.

Установлено, что для обеспечения неизменного положения центра давления агрегата, например, $X_D = 0$, при работе трактора с навесным орудием любого типа необходимо, чтобы его центр тяжести перемещался в соответствии с выражением

$$\pm a_0 = \frac{G_{op}(a_{op} \pm a) + P_Y(a_p \pm a) - G_{гр}L_{гр} \pm (M_f - P_X h_r)}{G_{тр} + G_{op} + G_{гр} + P_Y}, \quad (4)$$

где P_Y – нормальная составляющая реакции грунта на рабочий орган навесного орудия;

P_X – горизонтальная составляющая реакции грунта на рабочий орган навесного орудия;

h_r – высота приложения точки контакта навесного орудия с грунтом;

a_p – расстояние от оси ведущей звездочки точки контакта навесного орудия с грунтом.

В этом выражении знак плюс соответствует работе трактора с задней навеской орудий, а знак минус – с передней навеской, при которой центр тяжести трактора должен быть смещен назад относительно середины опорной поверхности гусениц.

Таким образом, для повышения эксплуатационных свойств гусеничного трактора необходимо оборудовать его устройством для корректирования положения центра тяжести. Координаты этого положения определяют формулами (2) и (4) при номинальной производительности агрегата или при среднем значении тягового сопротивления.

Техническое решение по реализации такого регулирования может быть реализовано на основе запатентованного устройства для регулирования положения балластного груза на полураме трактора [7].

Сущность предлагаемой конструкции заключается в том, что в передней части трактора устанавливается автоматически регулируемый балластный груз. Сигналом о необходимости его перемещения служит изменение сопротивления электрического датчика разгрузки, передающего этот сигнал в электрогидрораспределитель первой ступени. Данный распределитель управляет силовым гидроцилиндром, обеспечивающим перемещение балластного груза.

Таким образом, с целью повышения эксплуатационных свойств гусеничного трактора необходимо в зависимости от условий эксплуатации обеспечить автоматическое регулирование положения центра тяжести. Это позволит повысить его тягово-цепные свойства, производительность и топливную экономичность, а также снизить степень уплотнения почвы и образование колеи.

Библиографический список

1. Водяник И.И. Уплотнение почвы движителями сельскохозяйственных машин / И.И. Водяник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 5. – С. 19–22.
2. Гребнев В.П. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства : учеб. пособие / В.П. Гребнев, О.И. Поливаев, А.В. Ворохобин ; под общ. ред. О.И. Поливаева. – Москва : КНОРУС, 2016. – 260 с.
3. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов / В.В. Гуськов. – Москва : Машиностроение, 1966. – 195 с.
4. Гуськов В.В. О рациональном распределении веса гусеничного трактора / В.В. Гуськов, А.М. Комиссарчук // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 10. – С. 38–39.
5. Ксеневиц И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксеневиц, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
6. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. – Москва : КолосС, 2004. – 504 с.
7. Пат. 2 469 523 Российская Федерация, МПК А01В 63/00, В62D 49/08 (2006.01). Устройство для регулирования положения балластного груза на полураме трактора / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин (Россия). – № 2011116618/11; заявл. 26.04.2011; опубл. 20.12.2012, Бюл. № 35. – 7 с.
8. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля : учебник / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский ; под ред. В.А. Скотникова. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
9. Тракторы: Теория : учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. ; под ред. В.В. Гуськова. – Москва : Машиностроение, 1988. – 376 с.
10. Ходовые системы тракторов (Устройство, эксплуатация, ремонт) : справочник / В.М. Забродский, А.М. Файнлейб, Л.Н. Кутин и др. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 271 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dogruzka@gambler.ru.

Сергей Иванович Коржов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 29.10.2018

Дата принятия к печати 26.11.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Andrey V. Vorokhobin – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dogruzka@gambler.ru.

Sergey I. Korzhov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Received October 29, 2018

Accepted November 26, 2018