

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРА ПРИ ПОВОРОТЕ «КРАБОМ»

Александр Николаевич Беляев¹
Владимир Иванович Оробинский¹
Владимир Павлович Шацкий¹
Татьяна Владимировна Тришина¹
Виктор Валентинович Шередекин¹
Ирина Алевтиновна Высоцкая²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Министерства обороны Российской Федерации

При выполнении различных сельскохозяйственных операций в условиях реальной эксплуатации тракторы преодолевают значительные расстояния, при этом имеет место чередование рабочего хода и непроизводительных поворотов. Для повышения характеристик манёвренности, а также управляемости и устойчивости колёсного трактора способы его криволинейного движения на поворотной полосе выбираются с учётом конкретных условий работы. Существуют различные варианты решения этой задачи, наиболее популярным и эффективным из которых в настоящее время является применение крабового хода, позволяющего использовать трактор внутри ограниченного пространства, на многоконтурных сельскохозяйственных полях, для преодоления различных препятствий и др. Представлена методика вывода уравнений явного вида для аналитического расчёта теоретических координат точек траектории центра масс трактора при крабовом ходе. В основе вывода лежат параметрические уравнения для определения текущих координат теоретической кривой траектории. Полученные формулы позволяют оценить характер движения трактора «крабом» на неустановившемся этапе поворота. Выявлено, что при постоянных значениях поступательной скорости трактора и угловых скоростей колёс переднего и заднего мостов в поперечной плоскости траектория движения представляет собой дугу окружности. Результаты исследований могут быть использованы при проведении теоретических расчётов параметров криволинейного движения тракторов, а также других колёсных машин с целью выбора рациональных законов изменения скорости движения и управления поворотом колёс, выявления закономерностей их изменения с целью обеспечения необходимой устойчивости и управляемости и подтверждения эффективности в сравнении с известными и исследованными ранее законами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трактор, крабовый ход, поворот, траектория, манёвренность, управляемость, устойчивость.

DETERMINATION OF AN IDEAL TRAJECTORY OF THE TRACTOR MOTION AT CRAB TYPE TURNING MANEUVER

Alexander N. Belyaev¹
Vladimir I. Orobinsky¹
Vladimir P. Shatsky¹
Tatyana V. Trishina¹
Viktor V. Sheredekin¹
Irina A. Vysotskaya²

¹Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter the Great

²Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

When performing various farm tasks under actual usage conditions tractors get over considerable distances, herewith travel operations alternate with non-productive turnings. To improve the maneuvering capability, handling

and stability of the wheeled tractor the methods of its curvilinear motion on the headland are commonly chosen with respect to specific working conditions. There are various options for solving this problem, the most popular and effective of which is currently the use of crab type turning maneuver which allows the tractor to operate inside a limited space, on contour agricultural fields, as well as to overcome various obstacles, etc. The authors discuss a method for deriving explicit equations for analytical calculation of theoretical coordinates of trajectory points of the center of mass of a tractor at crab type turning maneuver. The conclusion is based on parametric equations for determining the current coordinates of an ideal curve of the trajectory. The obtained formulas make it possible to evaluate the mode of crab type motion of the tractor at an unsteady stage of the turning. It was found that at constant values of the forward velocity of the tractor and the angular velocity of the wheels of the front and rear axles in the diametral plane the trajectory of the motion is of the form of circular arc. The research results can be used for theoretical calculations of parameters of curvilinear motion of tractors, as well as other wheeled vehicles, in order to choose rational laws of changing motion speed and controlling wheels turning, to identify patterns of their variation in order to ensure the necessary handling and stability, and to confirm the effectiveness as compared to the known and studied laws.

KEYWORDS: tractor, crab type motion, turning, trajectory, maneuvering capability, handling and stability.

Сельскохозяйственные тракторы эксплуатируются в сложных погодных и производственных условиях, в частности в условиях отсутствия свободного пространства для совершения того или иного манёвра, ухудшения управляемости и устойчивости движения, вызывающих отклонения от заданной (требуемой) траектории движения при невозможности возврата к ней [3]. Решение указанных проблем является актуальной задачей, так как современное тракторостроение характеризуется тенденцией увеличения скоростей движения.

С целью повышения характеристик манёвренности, а также управляемости и устойчивости трактора производители применяют различные конструктивные решения, наиболее популярным и эффективным из которых в настоящее время является «крабовый ход», или просто «краб», позволяющий использовать трактор внутри ограниченного пространства [1, 2, 6, 7, 9].

«Крабовый ход» – это движение трактора боком, для осуществления которого необходимо поворачивать обе пары колёс в одну сторону. Такой метод перемещения кажется простым, но его качественная и чёткая реализация крайне сложна и доступна только для тракторов, созданных ведущими производителями. Чтобы трактор мог передвигаться «крабом», в нём нужно применить сложнейшую кинематическую схему. Она предполагает использование микропроцессора и специальных датчиков, которые проверяют положение колёс [3, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Также необходимо, чтобы трактор имел шины одинакового размера [5].

При этом «крабовый ход» имеет следующие неоспоримые преимущества [1, 2, 3, 6]:

- уменьшается, при необходимости, радиус поворота;
- предотвращается сползание трактора, работающего на склонах, смещением всех колёс на некоторый угол в сторону, противоположную направлению сползания;
- улучшается поперечная устойчивость трактора, в том числе на косогорах;
- повышается манёвренность и управляемость и, как следствие, эффективность и производительность трактора, даже в условиях ограниченного пространства.

Отмеченные положительные качества способа поворота «крабом» особенно заметны при работе машинно-тракторных агрегатов (МТА) на многоконтурных полях.

Многоконтурность, присущая фермерским сельскохозяйственным угодьям малых размеров, снижает производительность полевых механизированных агрегатов, оказывает негативное влияние на почву из-за изрезанности препятствиями (мелкие лесные колки, отдельно стоящие деревья, валуны, опоры электропередач, необрабатываемые участки солонцов, блюдца переувлажнённых почв и т. п.), что обуславливает дополнительные повороты и развороты агрегатов. Непроизводительные затраты времени МТА

на развороты и заезды прямо пропорциональны числу разворотов и заездов за время смены, поэтому при обработке подобных полей при криволинейном движении МТА рационально использовать различные способы управления колёсами тракторов, соответствующие конкретной агротехнологической ситуации [2].

При крабовом движении колёса передней и задней осей должны все одновременно поворачиваться на один и тот же угол α , и если этот угол постоянен, то остов трактора движется вперёд и в сторону без углового перемещения в горизонтальной плоскости, то есть происходит фактически прямолинейное движение трактора под углом к своей продольной оси (рис. 1).

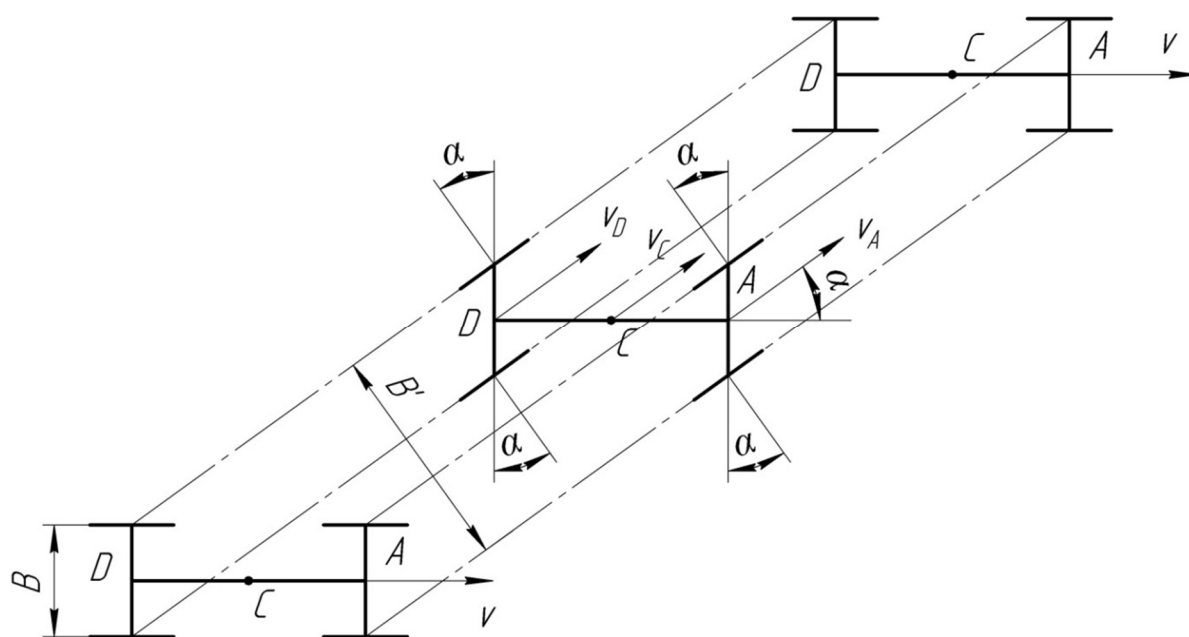


Рис. 1. Схема изменения направления движения трактора «крабом» при постоянных углах поворота управляемых колёс

Показанное на рисунке 1 изменение направления вектора скорости v облегчает движение трактора вверх по склону и также полезно при выполнении некоторых технологических операций. Поворотом, конечно, его можно назвать лишь условно, так как трактор не совершает поворот, а движется вбок. Именно поэтому такой способ изменения направления движения и получил название «краб».

Когда угол поворота колёс меняется, например, от нуля до какого-то значения, то траектория центра масс трактора представляет собой кривую линию (рис. 2). Отличие такого варианта поворота от традиционных, наиболее универсальных, кинематических способов поворота (передними или передними и задними, асинхронно в разные стороны, управляемыми колёсами относительно остова трактора [7, 9]) заключается в том, что при этом машина совершает не плоскопараллельное, а поступательное движение по криволинейной траектории (остов не поворачивается). Это движение можно исследовать как движение точки [8].

В процессе поворота указанными выше традиционными способами продольная ось трактора поворачивается относительно предыдущего положения, и трактор занимает более широкую полосу движения в сравнении с поворотом «крабом» (точка B' на рис. 1), что является несомненным преимуществом последнего.

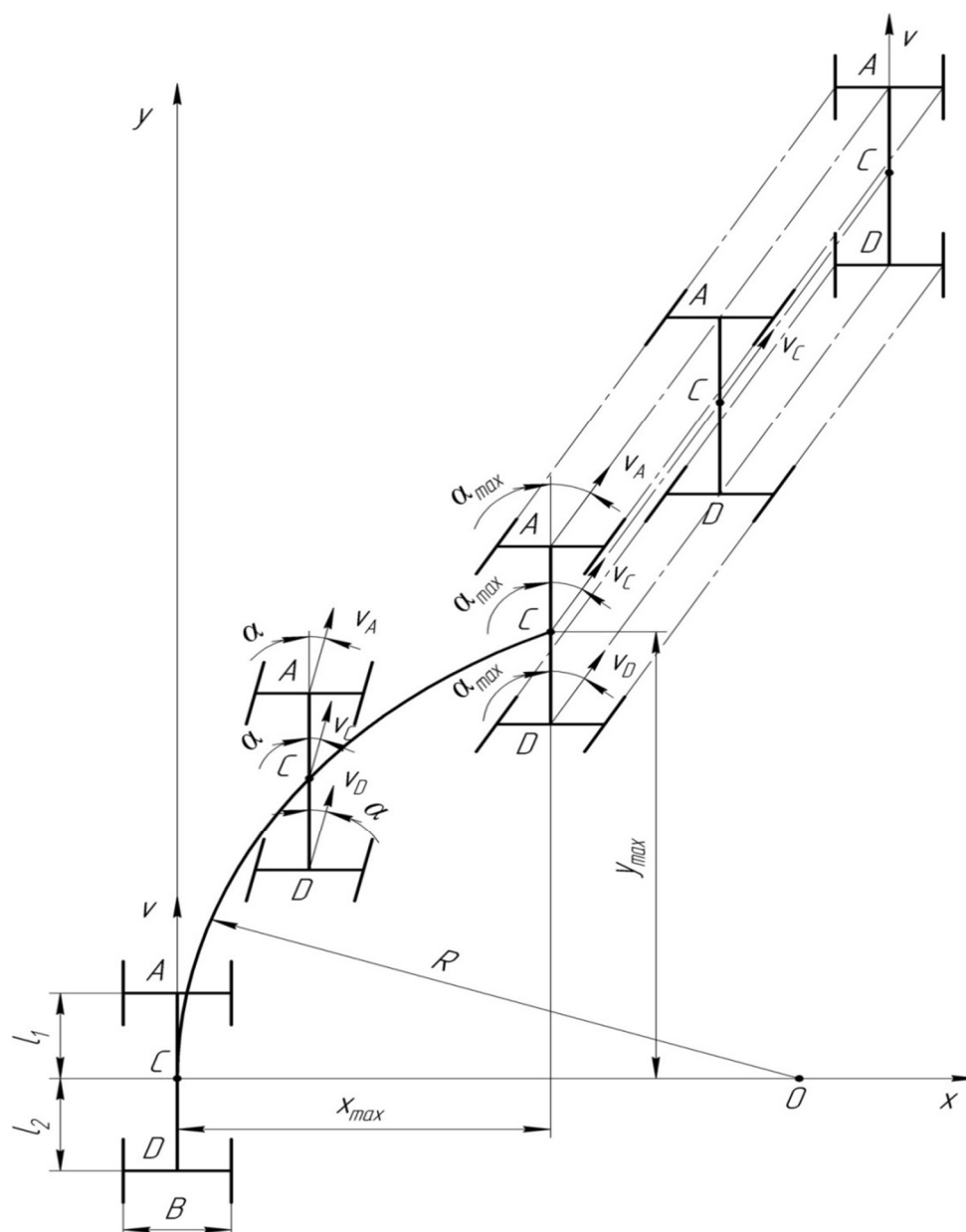


Рис. 2. Схема изменения направления движения трактора «крабом» при неустановившемся повороте

Известные в настоящее время методики расчётов траекторий криволинейного движения колёсных машин и оценок их результатов ориентированы в основном на традиционные способы поворота [7, 9, 10, 13, 20]. Поэтому нами была поставлена задача определения траектории движения колёсного трактора при крабовом ходе, так как исследование этого варианта криволинейного движения не проводилось.

Рассмотрим случай движения трактора «крабом» – с синхронным изменением угла поворота колёс в одну сторону относительно его остова (рис. 2), при постоянных значениях поступательной скорости трактора v и угловой скорости поворота рулевого колеса и соответственно угловых скоростей колёс переднего и заднего мостов ω в поперечной плоскости.

Элементарное перемещение центра масс любой точки остова трактора определяется по формуле [4, 8]

$$dS = v d\tau . \quad (1)$$

Примем, что тракторист поворачивает рулевое колесо с постоянной угловой скоростью независимо от поступательной скорости трактора, тогда поворот каждого колеса на угол α за время t осуществляется приближенно (с достаточной для практики точностью) также с постоянными угловыми скоростями ω (1/с), то есть.

$$\alpha = \omega\tau. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), в проекциях на оси координат имеем

$$\begin{aligned} dx &= v \sin \omega\tau d\tau; \\ dy &= v \cos \omega\tau d\tau. \end{aligned} \quad (3)$$

Интегрируя оба равенства (3), получаем текущие координаты теоретической траектории (закон движения), например, центра масс трактора (точка C на рис. 2) при повороте «крабом», исходя из условия качения колёс без скольжения, то есть правильности поворота

$$\begin{aligned} x(t) &= v \int_0^t \sin \omega\tau d\tau = -\frac{v}{\omega} \cos \omega\tau \Big|_0^t = \frac{v}{\omega} (1 - \cos \omega t); \\ y(t) &= v \int_0^t \cos \omega\tau d\tau = \frac{v}{\omega} \sin \omega\tau \Big|_0^t = \frac{v}{\omega} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (4)$$

Из параметрически заданных функций (4) исключим t

$$\begin{aligned} x - \frac{v}{\omega} &= -\frac{v}{\omega} \cos \omega t; \\ y &= \frac{v}{\omega} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (5)$$

Возводя каждое уравнение (5) в квадрат и после этого суммируя их, получаем уравнение окружности радиуса $R = \frac{v}{\omega}$ [4]

$$\left(x - \frac{v}{\omega}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{v}{\omega}\right)^2. \quad (6)$$

Таким образом, получена кривая траектории движения центра масс трактора при неустановившемся повороте «крабовым ходом» в виде функции явного вида.

Эта кривая при постоянных значениях v и ω будет окружностью радиусом $R = \frac{v}{\omega}$.

Координаты точки окончания поворота колёс x_{max} и y_{max} определяются из уравнений (4). В результате расчётов по формулам (4) и (6) выявлено, что, например, приняв $\omega = 0,157$ 1/с и $t = 4$ с, имеем следующие значения основных показателей при $v = 1,25$ м/с:

- максимальная абсцисса поворота $x_{max} = 1,5$ м;
- максимальная ордината поворота $y_{max} = 4,62$ м;
- длина траектории поворота $S = 5$ м;
- $R = 7,86$ м.

При $v = 1,5$ м/с значения основных показателей будут следующими:

- $x_{max} = 1,82$ м;
- $y_{max} = 5,61$ м;
- $S = 6$ м;
- $R = 9,55$ м (рис. 2).

Таким образом, повышение поступательной скорости движения трактора при прочих равных условиях приводит к увеличению всех кинематических параметров.

Сокращение времени манёвра от $t = 4$ с до $t = 3$ с, что соответствует $\omega = 0,21$ 1/с, при $v = 1,5$ м/с даёт следующие результаты: $x_{max} = 1,36$ м, $y_{max} = 4,2$ м, $S = 4,5$ м, $R = 7,14$ м.

Для сравнения приведём результаты расчётов тех же величин для трактора с одинаковыми конструктивными параметрами (что и в представленных исследованиях) и следующими исходными кинематическими характеристиками: $v = 1,5$ м/с, $\omega = 0,157$ 1/с, $t = 4$ с, при входе в поворот наиболее распространёнными в практике традиционными способами [13]:

- передние управляемые колёса – $x_{max} = 1,23$ м, $y_{max} = 5,77$ м, $S = 6$ м, $R = 4,54$ м (в конце участка);

- передние и задние управляемые колёса – $x_{max} = 2,09$ м, $y_{max} = 5,29$ м, $S = 6$ м, $R = 2,82$ м (в конце участка).

Установлено, что значения x_{max} и y_{max} достаточно близки, а R значительно отличаются, но уменьшение значений этого параметра не говорит о лучшей манёвренности трактора. Следует отметить, что радиус поворота и в первом, и во втором рассматриваемых случаях изменяется от бесконечности до приведённых величин, способствуя быстрому возрастанию инерционных и боковых сил, вследствие чего увеличивается динамическая нагруженность трактора и почвы. При этом в условиях реальной эксплуатации на рыхлой опорной поверхности нарушается условие правильности поворота, что вызывает также нагребание грунта управляемыми колёсами, боковой увод, скольжение и даже занос машины.

Таким образом, можно сделать вывод, что выбор того или иного режима совершения манёвра должен осуществляться исходя из конкретной агротехнологической ситуации с обеспечением устойчивости и управляемости, в том числе при переходе МТА с прямолинейного участка поворотной полосы на участок «вход в поворот», а от последнего – на этап «установившийся поворот» с обеспечением возврата ко входу в междурядья со смещением на величину ширины захвата технологического оборудования [2].

Зная координаты центра масс (4), можем рассчитать координаты любой точки трактора, например середины каждого колеса:

- левое переднее:

$$\begin{aligned} x'_1(t) &= x_C(t) - B/2; \\ y'_1(t) &= y_C(t) + l_1; \end{aligned} \tag{7}$$

- правое переднее:

$$\begin{aligned} x''_1(t) &= x_C(t) + B/2; \\ y''_1(t) &= y_C(t) + l_1; \end{aligned} \tag{8}$$

- левое заднее:

$$\begin{aligned} x'_2(t) &= x_C(t) - B/2; \\ y'_2(t) &= y_C(t) - l_2; \end{aligned} \tag{9}$$

- правое заднее:

$$\begin{aligned} x''_2(t) &= x_C(t) + B/2; \\ y''_2(t) &= y_C(t) - l_2, \end{aligned} \tag{10}$$

где l_1 и l_2 – соответственно расстояния от центра тяжести до переднего и заднего мостов, м;

B – ширина колеи, м.

Мгновенный теоретический радиус поворота любой точки при известных координатах будет являться радиусом кривизны траектории в данной точке и определяется по уравнению [4]

$$R(t) = \left| \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}}{\dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x}} \right|. \quad (11)$$

Таким образом, получены формулы для оценки движения трактора «крябом» на неустановившемся этапе поворота, позволяющие проводить теоретические расчёты характеристик его криволинейной траектории, а также других колёсных машин для выбора рациональных законов изменения скорости движения и управления поворотом колёс, выявления закономерностей их изменения с целью обеспечения необходимой устойчивости и управляемости и подтверждения эффективности в сравнении с известными и исследованными ранее законами.

Библиографический список

1. Беляев А.Н. Рациональный способ движения МТА на поворотной полосе / А.Н. Беляев, В.В. Шередекин, В.И. Крюков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 7. – С. 18–19.
2. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колёсных тракторов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / А.Н. Беляев. – Мичуринск-научоград, 2019. – 440 с.
3. Гольяпин В.Я. Новые интегральные тракторы JCB / В.Я. Гольяпин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 4. – С. 40–43.
4. Кудрявцев В.А. Краткий курс высшей математики : учеб. пособие для вузов / В.А. Кудрявцев, Б.П. Демидович. – 7-е изд. – Москва : Наука, 1978. – 624 с.
5. Обоснование параметров и конструкции универсально-пропашного трактора повышенной эффективности / К.Н. Виноградов, А.С. Дурманов, Н.И. Киселев и др. – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1978. – 164 с.
6. Пат. 2705413 Российская Федерация, МПК В 62 D 7/14, А01В 69/0 (2006.01). Способ поворота транспортно-го средства со всеми управляемыми колёсами / А.Н. Беляев, Д.Г. Козлов, И.А. Высоцкая, Т.В. Тришина; заявитель и патентообладатель А.Н. Беляев, Д.Г. Козлов, И.А. Высоцкая, Т.В. Тришина. – № 2019100113 ; заявл. 09.01.2019 ; опубл. 07.11.2019, Бюл. № 31. – 7 с.
7. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352 с.
8. Теоретическая механика : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / С.В. Болотин, А.В. Карапетян, Е.И. Кугушев, Д.В. Трещев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.
9. Тракторы: теория : учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. ; под общ. ред. В.В. Гуськова. – Москва : Машиностроение, 1988. – 374 с.
10. Трояновская И.П. Механика криволинейного движения тракторных агрегатов : монография / И.П. Трояновская. – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – 152 с.
11. Федоренко В.Ф. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства за рубежом (по материалам международной выставки «Agritechnica-2015» / В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольяпин, Н.П. Мишуков. – Москва : Росинформагротех, 2016. – 217 с.
12. Федоренко В.Ф. Тракторы сельскохозяйственного назначения за рубежом: тенденции развития и инновационные разработки / В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольяпин // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 1. – С. 2–7.
13. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn / A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, I.A. Vysotskaya, T.V. Trishina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 4527–4531.
14. Karogal I. Independent Torque Distribution Strategies for Vehicle Stability Control : Technical Paper / I. Karogal, B. Ayalew // SAE World Congress & Exhibition. – 2009. – 01. – 0456. DOI: <https://doi.org/10.4271/2009-01-0456>.
15. Mammari S. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering / S. Mammari, V.B. Baghdassarian // Proceedings of the American Control Conference. – 2000. – Vol. 1 (6). – Pp. 105–109. DOI: 10.1109/ACC.2000.878782.

16. Mokhiamar O. Active wheel steering and yaw moment control combination to maximize stability as well as vehicle responsiveness during quick lane change for active vehicle handling safety / O. Mokhiamar, M. Abe // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. – 2002. – Vol. 216 (2). – Pp. 115–124. DOI:10.1243/0954407021528968.
17. Orozco A.R. Evaluation of an Active Steering System / A.R. Orozco // Master's Degree Project. – Sweden, 2004. – 41 p.
18. Osborn R.P. Independent Control of All-Wheel-Drive Torque Distribution / R.P. Osborn, T. Shim // Vehicle System Dynamics. – 2006. – Vol. 44 (7). – Pp. 529–546. DOI: 10.1080/00423110500485731.
19. Ryu J.-C. Estimation of vehicle roll and road bank angle / J.-C. Ryu, J.C. Gerdes // Proceedings of the 2004 American Control Conference. – 2004. – Vol. 3. – Pp. 2110–2115. DOI:10.23919/acc.2004.1383772.
20. Troyanovskaya I.P. Model for stationary turn of an arbitrary vehicle / I.P. Troyanovskaya, S.A. Voinash // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 450 (3). – 032035. DOI: 10.1088/1757-899X/450/3/032035.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Александр Николаевич Беляев – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой прикладной механики, проректор по заочному и дополнительному образованию ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Татьяна Владимировна Тришина – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tata344@rambler.ru.

Виктор Валентинович Шередекин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: viktor_scher@mail.ru.

Ирина Алевтиновна Высоцкая – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры математики ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Дата поступления в редакцию 11.02.2020

Дата принятия к печати 26.03.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexander N. Belyaev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Applied Mechanics, Vice Rector for the Correspondence and Additional Education, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Tatyana V. Trishina, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tata344@rambler.ru.

Viktor V. Sheredekin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: viktor_scher@mail.ru.

Irina A. Vysotskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, the Dept. of Mathematics, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Received February 11, 2020

Accepted after revision March 26, 2020