

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 681.587.34:621.878.25

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА

В.С. Щербаков¹, Ю.Е. Ионова²

¹ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия;

²ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия

Аннотация. Рассмотрены зависимости поворота передних управляемых колес и складывания шарнирно-сочлененной рамы от хода штоков гидроцилиндров. Предложен механизм синхронизации поворота передних управляемых колес и складывания шарнирно-сочлененной рамы. Получен гидравлический коэффициент пропорциональности между рабочими объемами гидромоторов отрицательной обратной связи и площадями гидроцилиндров поворота колес и складывания шарнирно-сочлененной рамы. Приведен алгоритм ведения автогрейдера по заданной траектории.

Ключевые слова: автогрейдер, гидропривод рулевого управления, исполнительный гидроцилиндр, алгоритм, поворот колес, следование по траектории.

ВВЕДЕНИЕ

Немаловажным фактором при проведении строительных работ является маневренность автогрейдера. Изменение направления движения путем поворота передних управляемых колес осуществляется за счет использования гидравлического рулевого механизма (ГРМ). Синхронизация поворота передних управляемых колес и складывания шарнирно-сочлененной рамы (ШСР) автогрейдера позволит улучшить маневренность машины и повысить ее конкурентоспособность на мировом рынке.

ПОВОРОТ ПЕРЕДНИХ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС

Посредством рулевой трапеции и системы тяг при появлении управляющего воздействия от рулевого колеса происходит поворот передних управляемых колес. Максимальный угол

поворота передних колес составляет $\leq 45^\circ$. На рисунке 1 представлена кинематическая схема поворота передних управляемых колес с гидроцилиндром поворота колес. Положительным направлением угла τ будет поворот колес вправо, угол $-\tau$ – угол поворота колес влево[1,2].

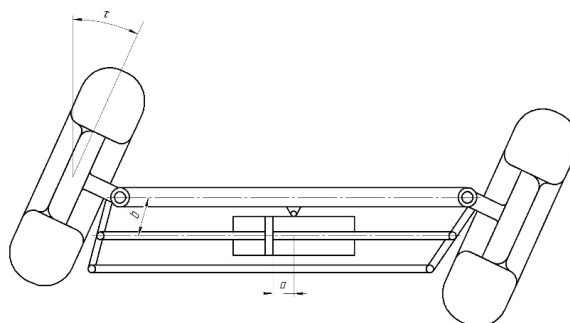


Рисунок 1 – Кинематическая схема поворота передних управляемых колес

Были получены зависимости между углом поворота колес и ходом штока гидроцилиндра:

$$a_{ПК} = b \sin \tau, \quad (1)$$

где $a_{ПК}$ – ход штока гидроцилиндра, м; b – расстояние от оси колес до крепления штока гидроцилиндра (конструктивный размер), м; τ – угол поворота колес.

СКЛАДЫВАНИЕ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМЫ

Для складывания шарнирно-сочлененной рамы используются два гидроцилиндра, работающие в противофазе и закрепленные вблизи кабины на моторной раме (рисунок 2). Максимальный угол складывания рамы $\leq 40^\circ$ [3,4].

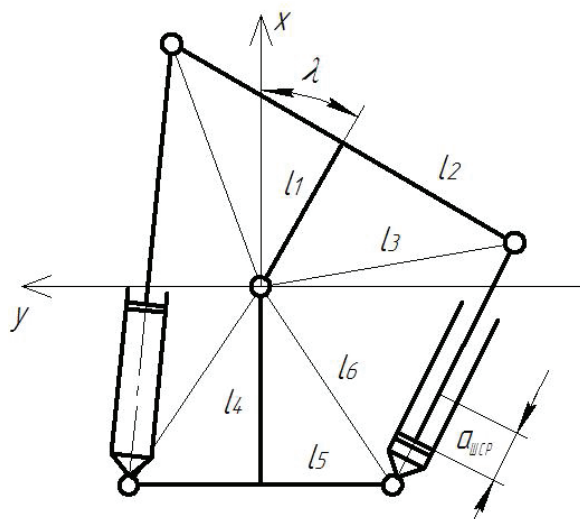


Рисунок 2 – Кинематическая схема складывания шарнирно-сочлененной рамы

Зависимость между углом складывания ШСР и ходом штока гидроцилиндра:

$$a_{ШСР} = \sqrt{l_3^2 + l_6^2 - 2l_3l_6 \cos \lambda}; \quad (2)$$

$$a_{ШСР} = \sqrt{l_1 + l_2 + l_4 + l_5 - 2\sqrt{l_1^2 + l_2^2}\sqrt{l_4^2 + l_5^2} \cos \lambda}, \quad (3)$$

где $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ – известные конструктивные размеры рамы, λ – угол складывания рамы; –ход штока правого гидроцилиндра.

В работе [5] установлено, что для движения передних и задних колес по одной колее (рисунок 3) угол складывания шарнирно-сочлененной рамы должен быть примерно в два раза меньше угла поворота передних управляемых колес:

$$k_1 = \frac{\lambda}{\tau} \approx 2, \quad (4)$$

где k_1 – кинематический коэффициент пропорциональности.

В общем случае расход жидкости, необходимый для перемещения штока исполнительного гидроцилиндра, равен:

$$Q = S a', \quad (5)$$

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

где S – рабочая площадь гидроцилиндра, v – скорость перемещения штока гидроцилиндра.

Расход жидкости для перемещения штока гидроцилиндра передних управляемых колес:

$$Q_{ПК} = S b \cos \tau', \quad (6)$$

где τ' – скорость перемещения штока гидроцилиндра.

Расход жидкости для перемещения штока гидроцилиндров ШСР:

$$Q_{ШСР} = S_{ШСР} \sqrt{l_3^2 + l_6^2 - 2l_3l_6 \sin \lambda'}, \quad (7)$$

где λ' – скорость перемещения штока гидроцилиндра.

Предложен гидравлический коэффициент пропорциональности k_2 – отношение расходов жидкости гидроцилиндров складывания ШСР и поворота передних колес:

$$k_2 = \frac{Q_{ШСР}}{Q_{ПК}} \quad (8)$$

Рабочий объем гидромотора отрицательной обратной связи можно рассчитать по формуле [6,7,8]:

$$S a_{max} = Q \Delta t = q_{min} n = q_{min} N, \quad (9)$$

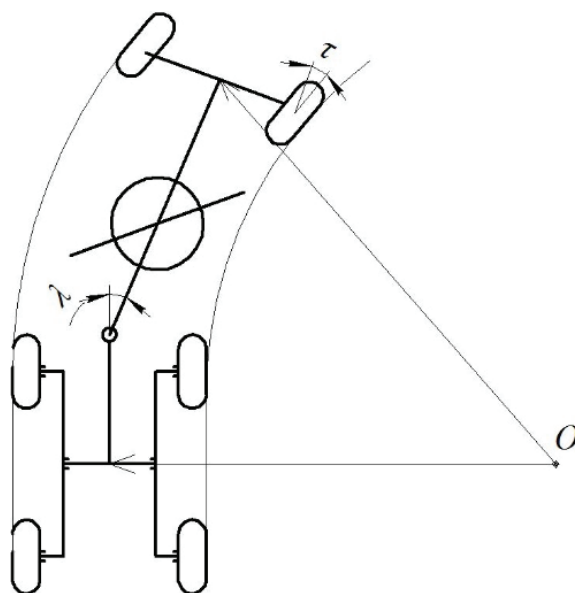


Рисунок 3 – Схема поворота автогрейдера с шарнирно-сочлененной рамой

где a_{max} – максимальный ход штока гидроцилиндра; Δt – интервал времени для поворота колес из одного крайнего положения в другое; n – число оборотов в единицу времени; N – число оборотов рулевого колеса; $=5$, т.к. при работе в аварийном состоянии оператор должен совершить поворот колес из одного крайнего положения колес в другое за 5 оборотов рулевого колеса; q_{min} – минимальное граничное значение рабочего объема гидромотора

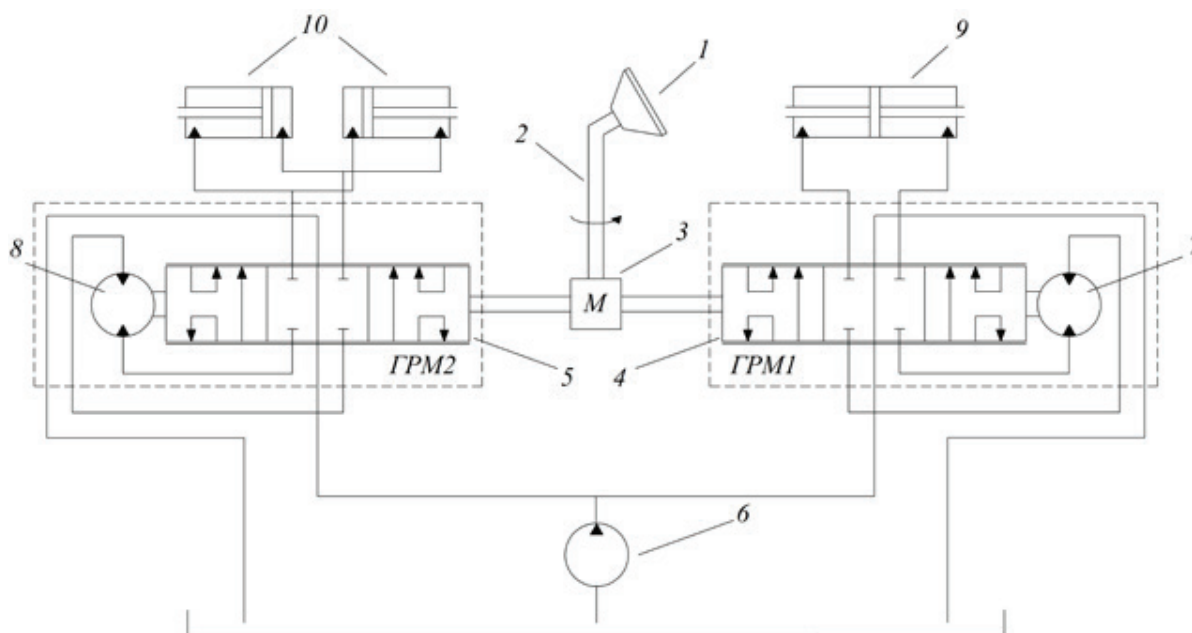


Рисунок 4 – Фрагмент модернизированной схемы гидравлической принципиальной гидросистемы рулевого управления автогрейдера

$$q_{min} = \frac{Sa_{max}}{5}. \quad (10)$$

Гидравлический коэффициент пропорциональности рабочих объемов гидромоторов отрицательной обратной связи:

$$k = \frac{q_{ШСР}}{q_{ПК}} = \frac{S_{ШСР}a_{ШСР}}{Sa_{ПК}}, \quad (11)$$

где $q_{ШСР}$ – рабочий объем гидромотора отрицательной обратной связи ШСР; $q_{ПК}$ – рабочий объем гидромотора отрицательной обратной связи передних управляемых колес.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРОСИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА

Для обеспечения движения передних и задних колес по одной колее и выполнения условия (11) было предложено модернизировать гидросистему рулевого управления. На рисунке 4 изображен фрагмент схемы гидравлической принципиальной гидросистемы рулевого управления автогрейdera.

В предложенной системе рулевого управления автогрейдером к рулевому колесу 1 и рулевой колонке 2 подключен механизм синхронного поворота «М» 3. К механизму синхронного поворота подключен уже имеющийся гидравлическим рулевым механизмом (ГРМ1), поворота передних управляемых колес и дополнительный гидравлический рулевой механизм (ГРМ2), вход которого соединен с насосной станцией 6, а выходы соединены с гидроцилиндрами поворота шарнирно-сочлененной рамы 10.

Угол поворота задается рулевым колесом 1, которое через рулевую колонку 2 и механизм синхронного поворота «М» 3 вращает золотники, входящие в состав гидрораспределителей 4 и 5 на одинаковые углы, которые подают жидкость, поступающую от насосной станции 6, проходящую через соответствующие гидромоторы отрицательной обратной связи 7 и 8, соответственно в гидроцилиндры поворота передних колес 9 и гидроцилиндры поворота хребтовой рамы относительно моторной 10.

За счет различных рабочих объемов гидромоторов отрицательной обратной связи 7 и 8 реализуется соотношение между углами поворота передних управляемых колес и складывания хребтовой рамы относительно моторной с целью движения передних и задних колес автогрейdera по одной колее.

Предложенная система рулевого управления автогрейdera позволяет осуществлять синхронный поворот передних управляемых колес и хребтовой рамы относительно моторной рамы с целью движения передних и задних колес автогрейdera по одной колее, что позволит повысить маневренность и мобильность автогрейdera.

ДВИЖЕНИЕ АВТОГРЕЙДЕРА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

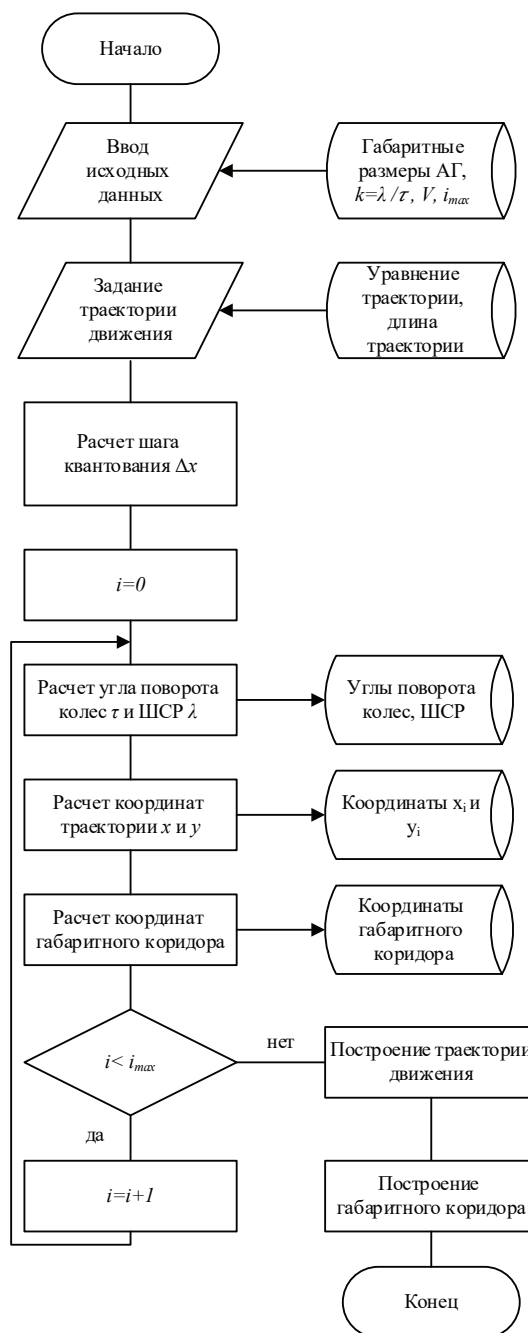


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма движения автогрейdera по заданной траектории

В процессе выполнения работ автогрейдер совершает движение по различным траекториям. Разработан алгоритм ведения автогрейдера по заданной траектории, суть которого заключается в разбиении траектории движения на условные участки и расчет углов наклона касательных к границам этих участков, при этом разность последующего и предыдущего угла будет давать угол поворота передних управляемых колес. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 5.

Для выполнения алгоритма необходимо ввести исходные данные:

- габаритные размеры автогрейдера;
- гидравлический коэффициент пропорциональности;
- количество шагов i ;
- уравнение траектории движения;
- длина траектории L .

Последовательно производится расчет минимального перемещения Δx вдоль оси x , расчет углов поворота колес и ШСР, координат x_i и y_i траектории движения автогрейдера и ширины габаритного коридора.

В качестве примера представлена траектория движения автогрейдера по синусоиде $y = A \sin(\omega t)$. По алгоритму получена траектория движения оси машины и ширина габаритного коридора (рисунок 6). Угол поворота колес τ в точках x_i представлен на рисунке 7.

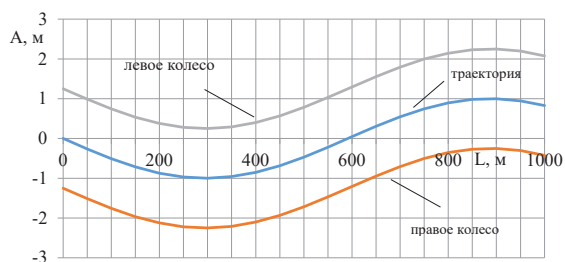


Рисунок 6 – Траектория движения автогрейдера (y) и ширина габаритного коридора

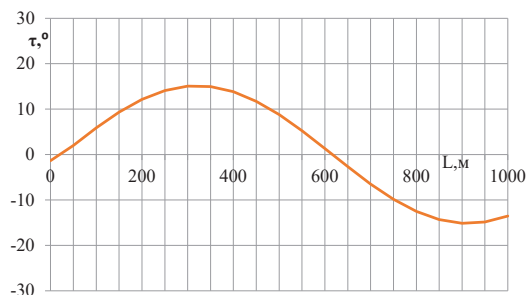


Рисунок 7 – Угол поворота колес τ в точках x_i

По графику на рисунке 7 можно сделать вывод что угол поворота колес составляет менее 20° , что является допустимым для выполнения условия 4, являющегося требованием для ведения передних и задних колес по одной колее с сохранением минимальной ширины габаритного коридора при входе в поворот и удовлетворяющего требование на максимальный угол поворота колес и складывание ШСР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для ведения передних и задних колес автогрейдера по одной колее с целью уменьшения габаритного коридора предложена модернизация гидросистемы рулевого управления, заключающаяся в подключении к рулевой колонке через механизм синхронизации дополнительного ГРМ, управляющего поворотом ШСР.

Разработанный алгоритм позволит провести автогрейдер по заданной траектории с минимальной шириной габаритного коридора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С. Научные основы повышения точности работ, выполняемых землеройно-транспортными машинами: дис. д-ра техн. наук: 05.05.04. Омск. 2000. 416 с.
2. Портнова, А.А. Зависимость угла поворота передних колес автогрейдера от хода штока гидроцилиндра поворота / А.А. Портнова // Природные и интеллектуальные ресурсы Омского региона (Омскресурс - 3 - 2013): матер. III Межвуз. науч. конф. студ. и аспирантов. / отв. ред. Т.П. Ковтун, А.А. Начвина. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 204 – 206.
3. Заболоцкий Ф.Д. Автогрейдер. 2-е изд. М.: Транспорт, 1970. – 182с.
4. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др. Дорожные машины. Машины для земляных работ. изд. 3-е, перераб. и доп. / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. /— М.: Машиностроение, 1972. — 504 с.
5. Портнова, А.А. Зависимость между углами поворота передних управляемых колес и шарнирно-сочлененной рамы автогрейдера / А.А. Портнова // Омский научный вестник. – Омск: ОмГТУ, 2013. – Вып. 3 (123). – С. 157 – 159.
6. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. Москва: Машиностроение, 1972. –320 с.
7. Любимов Б.А., Червяков Е.Н. Обоснование схем и основных параметров унифицированных объемных гидроприводов рулевого

управления колесных тракторов / Б.А. Любимов, Е.Н. Червяков //Тр. НАТИ.– М., НАТИ, 1975. –Вып.242. –С.31-38.

8. Галдин Н.С. Основы гидравлики и гидропривода: уч. пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 145 с.

IMPROVING THE HYDRAULIC DRIVE OF THE MOTOR GRADER

V. S. Sherbakov, Yu.E. Ionova

Annotation. *The dependences of the turning of the front steerable wheels and the folding of the articulated frame off displacement of the rods of the hydraulic cylinders are considered. The machinery for synchronizing the turning of the front steerable wheels and folding the articulated frame is proposed. The hydraulic coefficient of proportionality between the working volumes of the negative feedback hydraulic motors and the displacement of the rods of the hydraulic cylinders turning the wheels and folding the articulated frame is obtained. The algorithm of motion the motor grader for a given trajectory is given.*

Keywords: *motor grader, hydraulic steering, executive cylinder, algorithm, turning of wheels, trajectory tracking.*

REFERENCES

1. Shherbakov V.S. Nauchnye osnovy povysheniya tochnosti rabot, vypolnjaemyh zemlerojno-transportnymi mashinami [Scientific basis for increasing the accuracy of work performed by earth-moving machines]. Doctor's thesis. Omsk, 2000. 416 p.

2. Portnova A.A. Dependence of the angle of turning of the front wheels of the motor grader from displacement of the rods of the hydraulic cylinder of the turn. Prirodny e i intellektual'nye resursy Omskogo regiona. Mater. III Mezhdvuz. nauch. konf. stud. i aspir. Omsk, OmSTU, 2013. pp. 204-206.

3. Zabolockij F.D Avtogrejder [Motor grader]. Moscow, Transport, 1970. 182 p.

4. Alekseeva T.V., Artem'ev K.A., Bromberg A.A. Dorozhnye mashiny. Mashiny dlja zemljanyh rabot [Road machines. Machines for excavation works]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 504 p.

5. Portnova A.A. Dependence between the angles of turnion of the front steerable wheels and the articulated frame of the motor grader. Omskij nauchnyj vestnik, 2013, no. 3 (123). pp 157-159.

6. Bashta T.M. Gidroprivod I gidropneumoavtomatika [Hydraulic drive and hydropneumoautomatics]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 320 p.

7. Ljubimov B.A., Chervjakov E.N. Substantiation of schemes and basic parameters of unified

volumetric hydraulic steering gears for wheeled tractors. trudy NATI, Moscow, RTI, 1975, no.242. pp. 31-38.

8. Galdin N.S. Osnovy gidravlik I igidroprivoda: uch. posobie [Fundamentals of hydraulics and hydraulic drive: a manual] Omsk, SibADI, 2006. 145 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Щербakov Виталий Сергеевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СибАДИ».(644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sherbakov_vs@sibadi.org).

Vitaliy S. Sherbakov (Omsk, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Automation of industrial processes and electrical”, The Siberian Automobile and Highway University (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov_vs@sibadi.org).

Ионова Юлия Евгеньевна (Омск, Россия) – преподаватель кафедры «Инженерная геометрия и САПР» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644080 г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: juliqmer@gmail.com).

Yuliia E. Ionova (Omsk, Russia) – lecturer department of Engineering geometry and CAD, Omsk State Technical University (644080, Omsk, pr. Mira, 11, e-mail: juliqmer@gmail.com).

.....