

УДК 629.114.026

В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
И. В. ЯЛОВОЛ, ассистент, НТУ «ХПИ»;
О. И. ДЕРКАЧ, старший преподаватель, НТУ «ХПИ»;
Н. А. МИТЦЕЛЬ, ассистент, НТУ «ХПИ».

АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРООБЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА ХТЗ-200

Предложена альтернативная конструкция гидрообъемного механизма поворота гусеничного трактора ХТЗ-200, которая позволит повысить максимальную скорость движения трактора до 16 км/ч с учетом применения серийной коробки передач колесного трактора и минимальных доработок существующего трактора ХТЗ-200. Составлена математическая модель поворота трактора, определены рациональные конструктивные параметры ГОМП и объем гидромашин ГОП, определены значения моментов и угловых скоростей на звеньях трансмиссии трактора.

Ключевые слова: гусеничный трактор, трансмиссия, коробка переключения передач (КПП) механизм поворота, гидрообъемная передача (ГОП), гидрообъемный механизм поворота (ГОМП).

Введение. ГОМП, в сравнении с другими типами механизмов поворота гусеничных тракторов, обладает рядом существенных преимуществ, основными из них являются увеличение и постоянство силы тяги на крюке и как следствие повышение производительности и экономичности МТА [1]. Это обеспечивается дифференциальным перераспределением потоков мощности по бортам трактора за счет сложной кинематической связи двух планетарных механизмов ГОМП с двумя независимыми потоками мощности приходящими от двигателя.

Цель и постановка задачи. На тракторе ХТЗ-200 применяется серийная КПП колесного трактора, что значительно снижает стоимость его производства. Существующая кинематика и конструктивное исполнение механизма поворота не позволяют без доработки конструкции КПП обеспечить максимальную скорость выше 12 км/ч [5], что неприемлемо. Увеличение максимальной скорости трактора до приемлемых 16-18 км/ч с возможно только при изменении кинематической схемы механизма поворота. Применение альтернативных конструкций ГОМП на гусеничном тракторе ХТЗ-200 в значительной степени ограничено высокой плотностью компоновки агрегатов существующего трактора, большими объемами его возможных доработок, а также значениями нагрузок и угловых скоростей элементов ГОМП, поэтому при проектировании новой конструкции механизма поворота на этапе выбора кинематической схемы необходимо учитывать все эти факторы. Предложенная в статье альтернативная схема ГОМП (рис. 1) вписывается в существующие габариты трактора ХТЗ-200 и требует минимальных доработок конструкции трактора. Для определения нагрузок и угловых скоростей элементов ГОМП необходимо составить математическую модель, которая позволит провести проектные и проверочные расчеты элементов и определить объем гидроагрегатов ГОП.

Математическая модель. К особенностям данной схемы относятся: применение серийной КПП колесного трактора без раздаточной коробки, применение главных передач с передаточным числом $u_{ГП}=45/11=4,091$, ГОП объемом 51 см³. Двигатель DEUTZ TCD 2012 ($w_n=210$ рад/с, $N_n=147$ кВт).

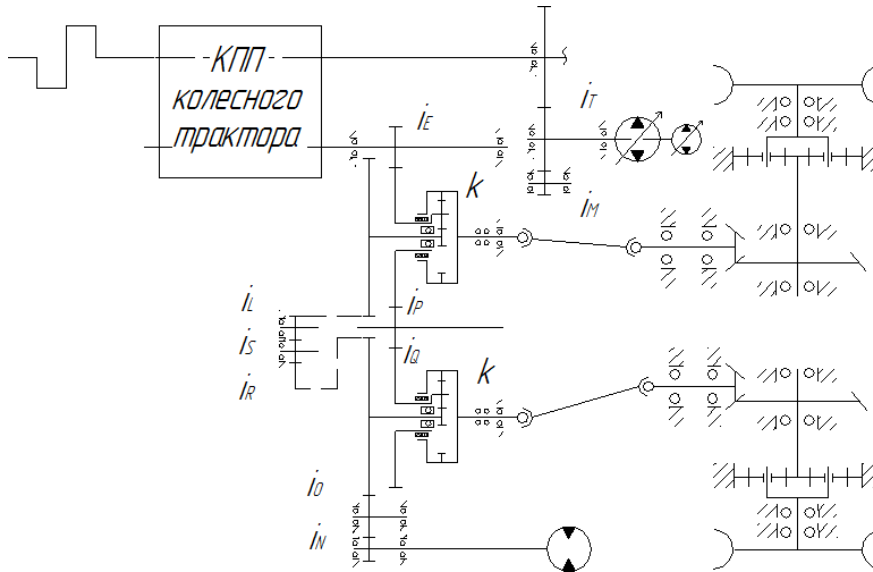


Рисунок 1 – Кинематическая схема трактора с ГОМП

Схема сил действующих на трактор при повороте представлена на рис. 2. Трактор поворачивается относительно центра O с угловой скоростью ω . При этом на трактор действуют: $P_{к1}, P_{к2}, P_{л1}, P_{л2}$ – касательные силы тяги и сопротивления движению на забегающей и отстающей гусеницах; $F_{1\gamma}, F_{2\gamma}$ – соответственно боковые силы на забегающей и отстающей гусениц (они возникают в результате боковых скольжений гусениц); $P_{кр}$ – сила тяги на крюке; M_c – момент сопротивления повороту.

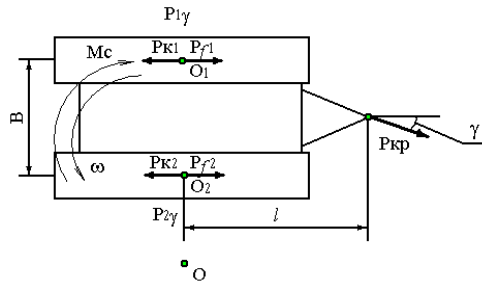


Рисунок 2 – Схема действующих на трактор сил при повороте

Угловая скорость водил и солнечных шестерен планетарных рядов, рад/с:

$$w_{в1} = w_n \cdot i_{кр} \cdot i_E \cdot i_P \cdot i_Q$$

$$w_{в2} = w_n \cdot i_{кр} \cdot i_E$$

$$w_{с1} = w_n \cdot i_M \cdot i_T \cdot e \cdot \eta_{ГОПоб} \cdot i_N \cdot i_O$$

$$w_{с2} = w_n \cdot i_M \cdot i_T \cdot e \cdot \eta_{ГОПоб} \cdot i_N \cdot i_O \cdot i_R \cdot i_S \cdot i_L$$

где e – параметр регулирования ГОП;

$\eta_{ГОПоб}$ – объемный КПД гидронасоса и гидромотора:

$$\eta_{ГОПоб} = \left(1 - \frac{K_y \cdot 2\pi \cdot p \cdot (1 + C_y \cdot |w_{ГМ}|)}{\mu_d \cdot D_q^3 \cdot |w_{ГМ}|} \right) \times \frac{1}{1 + \frac{K_y \cdot 2\pi \cdot p \cdot (1 + C_y \cdot |w_{ГМ}|)}{\mu_d \cdot D_q^3 \cdot |w_{ГМ}|}}$$

где C_y, K_y – коэффициенты потерь в ГОП;
 D_y – характерный размер гидромашин;
 μ_d – динамическая вязкость рабочей жидкости ГОП.
 $w_{ГМ}, w_{ГН}$ – угловая скорость гидронасоса и гидромотора,

$$\begin{aligned} w_{ГН} &= w_n \cdot i_M \cdot i_T \\ w_{ГМ} &= w_n \cdot i_M \cdot i_T \cdot e \end{aligned}$$

Угловая скорость эпициклических шестерен планетарного ряда, рад/с:

$$w_{\exists i} = \frac{w_{ci} - w_{\exists i}(1 - k)}{k}$$

где k – внутреннее передаточное число планетарных механизмов, $k = -2,125$
 Угловая скорость ведущих звездочек и линейная скорость движения, рад/с, м/с:

$$\begin{aligned} w_i &= w_{\exists i} \cdot i_{ГП} \cdot i_{БП} \\ v &= \frac{w_1 + w_2}{2} \cdot r_z \end{aligned}$$

Радиус поворота трактора и угловая скорость поворота, м, рад/с:

$$\begin{aligned} R &= \frac{w_1 + w_2}{w_1 - w_2} \cdot \frac{B}{2} \\ w &= \frac{w_1 \cdot r_z}{R + \frac{B}{2}} \end{aligned}$$

Сила сопротивления на гусеницах, Н:

$$P_{ki} = P_{fi} + P_{\gamma i} + P_{Ci}$$

где P_{fi} – силы сопротивления движению возникающие от трения качения и сопротивления на крюке, Н;
 f – коэффициент сопротивления качению, $f = 0,08$;
 $P_{\gamma i}$ – силы сопротивления движению возникающие от момента сопротивления образованного поперечной составляющей силы на крюке, Н.
 P_{Ci} – силы сопротивления движению возникающие от момента сопротивления повороту, Н:

$$\begin{aligned} P_{fi} &= R_i \cdot f + \frac{P_{кр}}{2} \cos \gamma \\ P_{\gamma i} &= \pm \frac{P_{кр} \cdot l_{кр} \cdot \sin \gamma}{B} \\ P_{Ci} &= \pm \frac{M_C}{B} \end{aligned}$$

где M_C – момент сопротивления повороту, Нм:

$$M_c = R_{\text{пр}} \cdot \frac{\mu \cdot L}{2}$$

где μ – коэффициент сопротивления повороту [2]:

$$\mu = \frac{\mu_{\text{max}}}{1 + \xi \left(\frac{R}{B} - 0.5 \right)}$$

где μ_{max} – максимальный коэффициент сопротивления поворота $\mu_{\text{max}}=0,82$ [2],

ξ – коэффициент учитывающий сдвиг грунта $\xi=0,22$ [2]

Моменты сопротивления соответственно на: ведущих звездочках, эпициклических, солнечных шестернях и водилах планетарных механизмов, на валу гидромотора и гидронасоса, а также давление в системе ГОП, Нм, Па:

$$\begin{aligned} M_{ki} &= P_{ki} \cdot r_z \\ M_{ei} &= M_{ki} \cdot \frac{i_{\text{ГП}}}{\eta_{\text{ГП}}} \cdot \frac{i_{\text{БП}}}{\eta_{\text{БП}}} \\ M_{ci} &= \frac{M_{ei}}{\eta_{\text{ТПМе-с}}} \cdot \frac{1}{-k} \\ M_{vi} &= \frac{M_{ei}}{\eta_{\text{ТПМе-в}}} \cdot \frac{1}{-k} \\ M_{\text{ГМ}} &= \left(M_{c1} + M_{c2} \cdot \frac{i_L}{\eta_L} \cdot \frac{i_R}{\eta_R} \cdot \frac{i_S}{\eta_S} \right) \cdot \frac{i_O}{\eta_O} \cdot \frac{i_N}{\eta_N} \\ \Delta p &= \frac{M_{\text{ГМ}} \cdot 2\pi}{Q \cdot \eta_{\text{ГМмех}}} \\ M_{\text{ГН}} &= \frac{\Delta p \cdot Q \cdot e}{2\pi \cdot \eta_{\text{ГНмех}}} \end{aligned}$$

где Q – объем гидромотора, $Q = 51,62 \text{ см}^3$;

$\eta_{\text{ГМмех}}, \eta_{\text{ГНмех}}$ – механический КПД, соответственно, гидромотора и гидронасоса:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{ГМмех}} &= 1 - \frac{K_1 |w_{\text{ГМ}}|}{\Delta p} (1 + K_2) - \frac{K_5 (1 + K_4)}{1 + K_1 |w_{\text{ГМ}}| D_q} - \frac{K_8 (1 + K_7)}{\Delta p (1 + K_6 |w_{\text{ГМ}}| D_q)} \\ \eta_{\text{ГНмех}} &= \frac{1}{1 + \frac{K_1 |w_{\text{ГН}}|}{\Delta p} (1 + K_2) + \frac{K_5 (1 + K_4)}{1 + K_1 |w_{\text{ГН}}| D_q} + \frac{K_8 (1 + K_7)}{\Delta p (1 + K_6 |w_{\text{ГН}}| D_q)}} \end{aligned}$$

Суммарный момент сопротивления на валу ДВС и общий КПД трансмиссии, Нм

$$\begin{aligned} M_{\text{Д}} &= \left(M_{\text{в1}} \frac{i_Q}{\eta_O} \cdot \frac{i_P}{\eta_P} + M_{\text{в2}} \right) \frac{i_E}{\eta_E} \cdot \frac{i_{\text{КПП}}}{\eta_{\text{КПП}}} + M_{\text{ГН}} \frac{i_T}{\eta_T} \cdot \frac{i_M}{\eta_M} \\ \eta_{\text{tr}} &= \frac{M_1 \cdot w_1 + M_2 \cdot w_2}{M_{\text{Д}} \cdot w_n} \end{aligned}$$

Расчеты выполнены в программе MathCAD. Результаты расчета представлены графически на рисунках 3-4.

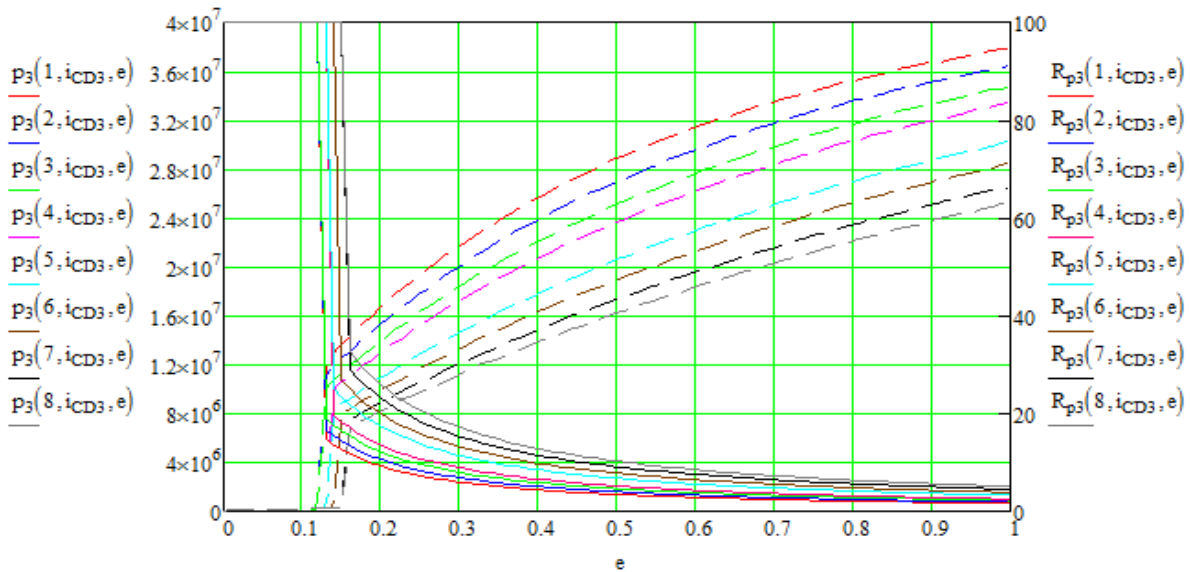


Рисунок 3 – давление в системе ГОМП и радиусы поворота

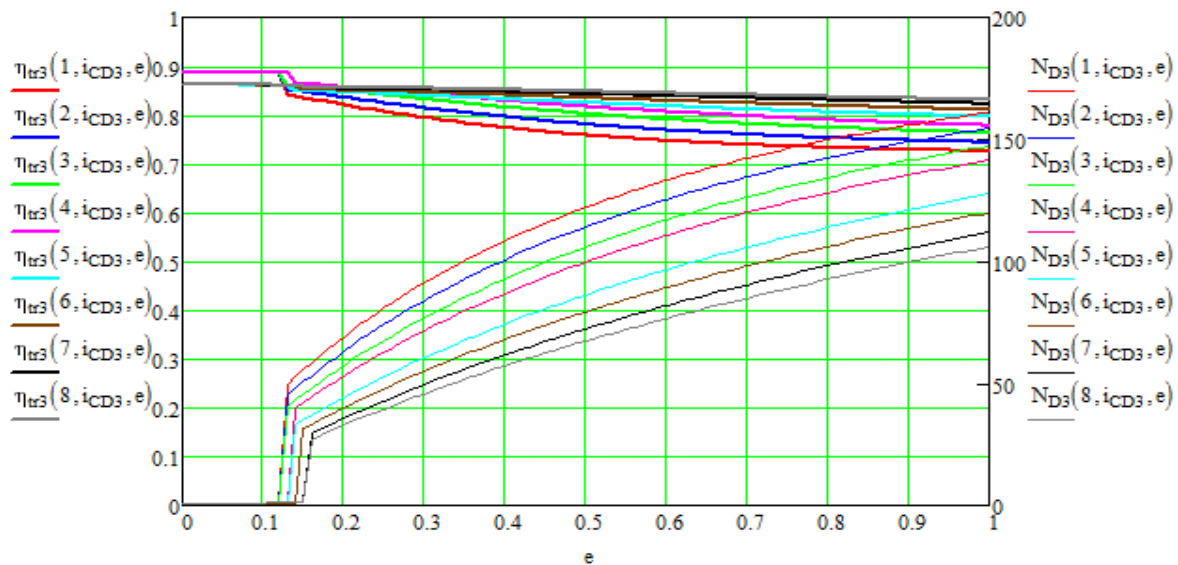


Рисунок 4 – КПД трансмиссии с ГОМП в повороте

Выводы. В статье предложена альтернативная конструкция ГОМП гусеничного трактора ХТЗ-200, позволяющая достичь максимальной скорости 16 км/ч и не требующая существенных доработок трактора. Составлена математическая модель поворота трактора позволяет определить конструктивные параметры ГОМП. Для обеспечения удовлетворительного режима работы ГОП по максимальному давлению, минимальный объем гидромашин должен быть не менее 51 см³. Рекомендуемый объем гидромашин ГОП 71 см³. Также составленная математическая модель позволяет определить значения моментов и угловых скоростей на звеньях трансмиссии, которые в дальнейшем можно использовать для прочностного расчета и расчета на долговечность.

Список литературы. 1. Абдула С. Л. Бесступенчатый механизм поворота гусеничных тракторов ХТЗ / С. Л. Абдула, С. П. Гудзь, З. Э. Забелышинский, В. Б. Самородов // Вести академии инженерных наук Украины – 2006. – № 1(28). **2.** Самородов В. Б. Визначення раціональних конструктивних параметрів безступінчастого гідрооб’ємного механізму повороту / В. Б. Самородов, І. В. Яловол // Вісник НТУ «ХПІ» – 2008. – № 58. **3.** Александров Е. Е. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. В 10-ти томах. Том 3: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования / Е. Е. Александров, В. Б. Самородов, Д. О. Волонцевич, А. С. Палащенко – Х. : ХГПУ. – 1997. –185с. **4.** Самородов В. Б. Математическая модель и результаты моделирования гидрообъемного механизма поворота трактора ХТЗ-200 / В. Б. Самородов, А. В. Рогов, М. Б. Бурлыга // Вестник КГПУ. Вып. 3. – Кременчуг. : КГПУ. – 2003. – С.12-17. **5.** Отчет о НИР. «Синтез рациональных конструктивных параметров гидрообъемного механизма поворота (ГОМТ) и серийного механизма поворота гусеничных тракторов». Х. : НТУ «ХПИ» – 2006. **6.** Самородов В. Б. Состояние вопроса по трактору ХТЗ-200: проблемы и перспективы / В. Б. Самородов // Вестник НТУ «ХПИ» –2005. – № 13. – С. 28–34. **7.** Городецкий К. И. Математическая модель объемных гидромашин / К. И. Городецкий, А. А. Михайлин // Вестник машиностроения. – 1981.– №9.– С.14-17. **8.** Александров Е. Е. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е. Е. Александров, А. Т. Лебедев, В. Б. Самородов [и др.]. – Х. : ХГАДТУ, 2001.–642 с. **9.** Яловол І. В. Безступінчастий планетарний механізм повороту гусеничних самохідних машин / І. В. Яловол, В. Б. Самородов // Державний патент України на корисну модель №30627 від 11.03.2008. **10.** Кисточкин Е. С. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О. М. Бабаев, Л. Н. Игнатов, Е. С. Кисточкин [и др.]. // – Л. : Машиностроение. – 1987. – С. 256.

Bibliography (transliterated): 1. S. L. Abdula, S. P. Gudz, Z. E. Zabelyishinskiy, V. B. Samorodov Besstupenchatyy mehanizm povorota gusenichnyih traktorov XTZ Vesti akademii inzhenernyih nauk Ukrainyi No 1(28). 2006. **2.** V. B. Samorodov, I. V. Yalovol Vznachennya ratsionalnih konstruktivnih parametrov bezstuplnchastogo gidroob'emnogo mehanizmu povorotu Visnyk NTU "KhPI" No 58. 2008. **3.** E. E. Aleksandrov, V. B. Samorodov, D. O. Volontsevich, A. S. Palaschenko Kolesnyie i gusenichnyie mashyny vyisokoy prohodimosti. In 10 vol. Vol 3: Besstupenchatyye transmissii: raschet i osnovyi konstruirovaniya – Kharkiv. : KhGPU. – 1997. **4.** V. B. Samorodov, A. V. Rogov, M. B. Burlyiga Matematicheskaya model i rezultaty modelirovaniya gidroob'emnogo mehanizma povorota traktora KhTZ-200 Vestnik KhGPU. No 3. – Kremenchug. : KhGPU. – 2003. **5.** Otchet o NIR. «Sintez ratsionalnyih konstruktivnyih parametrov gidroob'emnogo mehanizma povorota (GOMT) i seriynogo mehanizma povorota gusenichnyih traktorov». Kharkiv. : NTU «KhPI» – 2006. **6.** V. B. Samorodov Sostoyanie voprosa po traktoru KhTZ-200: problemy i perspektivy Vesnik NTU «KhPI» –2005. – No 13. **7.** K. I Gorodetskiy, A. A. Mihaylin Matematicheskaya model ob'emnyih gidromashin Vestnik mashinostroeniya. – 1981.– No 9. **8.** E. E. Aleksandrov, A. T. Lebedev, V. B. Samorodov [i dr.]. Dinamika transportno-tyagovyih kolesnyih i gusenichnyih mashin – Kharkiv. : KhGADTU, 2001.–642 p. **9.** I. V. Yalovol, V. B. Samorodov Bezstuplnchastiy planetarniy mehanizm povorota gusenichnih samohidnih mashin Derzhavniy patent Ukrayini na korisnu model №30627 vid 11.03.2008. **10.** O. M. Babaev, L. N. Ignatov, E. S. Kistochkin [i dr.]. Ob'emnyie gidromehaniicheskie peredachi: Raschet i konstruirovanie – L. : Mashinostroenie. – 1987.

Надійшла (received) 19.02.2015