С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің **Ғылым жаршысы**(пәнаралық) = **Вестник науки** Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2015. - №1 (84). – С.163-171

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ ТРАНСМИССИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПОЛКОВОЙ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ МАШИНЫ

Грузин В.В.

Аннотация

Надежность и эффективность работы полковой землеройной машины зависит от применения в конструкции ее трансмиссии предохранительного устройства, позволяющего в автоматическом режиме отслеживать, возникающие на рабочем органе сопротивления, и своевременно обеспечивать его постепенное выглубление или полную остановку. Учитывая внезапность стопорения рабочего органа прочными включениями в грунтовой среде, требуется определить критерий - рациональный диапазон времени срабатывания гидромеханического регулятора.

Разработана математическая модель управления предохранительным устройством трансмиссии рабочего органа землеройной машины. С учетом требований рабочего процесса, технических характеристик базовой машины-носителя определен рациональный интервал времени управления предохранительным устройством.

Ключевые слова*:* устройство, машина, трансмиссия, параметры, орган, управление, моделирование, палец-штифт, полумуфта, редуктор, привод.

Введение. Выполнение значительных объемов земляных работ в кратчайшие сроки может сопровождаться существенными потерями времени, связанными с устранением неисправностей в предохранительном устройстве трансмиссии рабочего органа (РО) полковой землеройной машины (ПЗМ-2), а именно с заменой срезанного пальца-штифта (см. рисунок 1) [1].

Рисунок 1 - Предохранительное устройство трансмиссии ПЗМ-2:
1 – предохранительный элемент (срезаемый палец-штифт); 2 – полумуфты.

Изложенное предполагает разработку конструкции предохранительного устройства, позволяющего в автоматическом режиме отслеживать возникающие на РО сопротивления и своевременно обеспечивать его постепенное выглубление или полную остановку. Учитывая внезапность стопорения РО прочными включениями в грунтовой среде, требуется определить рациональный диапазон времени срабатывания гидромеханического регулятора (ГМР). Для этого с помощью математического моделирования определим текущее время среза пальца-штифта полумуфтами предохранительного устройства трансмиссии РО полковой землеройной машины ПЗМ-2.

В соответствии с расчетной схемой взаимодействия между собой двух полумуфт предохранительного устройства сначала определим диапазон изменения угла их поворота относительно друг друга, необходимого для полного среза предохранительного пальца-штифта (см. рисунок 2).

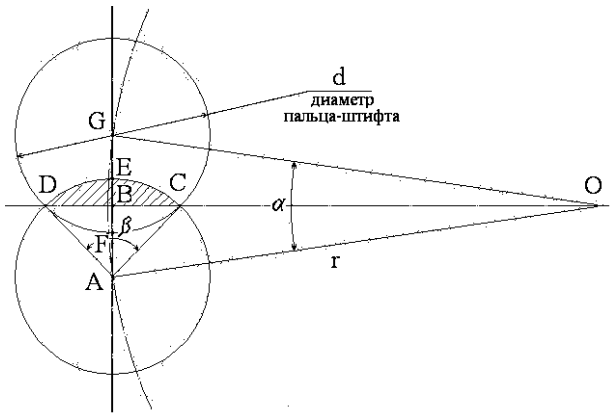

Рисунок 2 – Расчетная схема определения изменения угла поворота двух полумуфт относительно друг друга для среза предохранительного пальца-штифта

Очевидно, что в рабочем состоянии угол рассогласования полумуфт $\alpha = 0$. На основании расчетной схемы, считаем, что полному срезу предохранительного пальца-штифта соответствует следующее условие:

$$r \cdot \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2}, \tag{1}$$

где r – радиус окружности центральной линии среза;
α – текущий угол поворота полумуфты предохранительного устройства, обеспечивающий срезание предохранительного пальца-штифта;
d – диаметр предохранительного пальца-штифта.

Откуда угол полного среза $\alpha_{ср}$ можно рассчитать как:

$$\alpha_{ср} = 2\arcsin\frac{d}{2r}, \tag{2}$$

где $\alpha_{ср}$ – угол полного среза предохранительного пальца-штифта.

Площадь среза $S_{ср}$ состоит из двух одинаковых сегментов $S_{сегм}$ (DECB и DBCF):

$$S_{ср} = 2 \cdot S_{сегм}. \tag{3}$$

Площадь сегмента $S_{сегм}$ равна [2]:

$$S_{сегм} = \frac{d^2}{8} \cdot (\beta - \sin\beta), \tag{4}$$

где β – угол, образованный лучами AD и AC, формирующими площадь среза, равную двум сегментам DECB и DBCF.

Рассмотрим следующие прямоугольные треугольники ABC и ABO:

$$|AB| = \frac{d}{2}\cos\cdot\frac{\beta}{2} = r \cdot \sin\frac{\alpha}{2}. \tag{5}$$

Откуда находим угол β:

$$\beta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2}\right). \tag{6}$$

Таким образом, подставив в уравнение (3) уравнения (4) и (6), получим зависимость изменения текущей площади $S_{ср}$ поперечного сечения среза пальца-штифта от угла α поворота полумуфт предохранительного устройства относительно друг друга в виде следующего выражения:

$$S_{ср} = \frac{d^2}{4} \cdot \left[2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2}\right) - \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right], \tag{7}$$

где α – текущий угол поворота полумуфты предохранительного устройства, обеспечивающий срезание предохранительного пальца-штифта, изменяется в диапазоне $0 \le \alpha \le 2 \cdot \arcsin\frac{d}{2r}$.

Длина траектории (дуги AG) l , по которой происходит движение центра отверстия полумуфты в процессе среза предохранительного пальца-штифта, равна [3, 4]:

$$l = r \cdot \alpha. \tag{8}$$

Предельный вращающий момент, при котором происходит срез пальца-штифта, равен:

$$M_{ср} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot r \cdot \tau_{ср}}{4}, \tag{9}$$

где $\tau_{ср}$ – расчетный предел прочности на срез штифта.

Временное сопротивление разрыву (в зависимости от марки стали штифта) σ_B, МПа. Для расчета из таблицы 21 [4] выбираем коэффициент пропорциональности K между пределами прочности на срез $\tau_{ср}$ и на разрыв σ_B

$$\tau_{ср} = K \cdot \sigma_B . \tag{10}$$

Момент силы сопротивления срезу предохранительного пальца-штифта в соответствии с уравнением (7) будет равен:

$$\begin{aligned} M_{сопр} &= r \cdot \tau_{ср} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - S_{ср} \right) = \\ &= \frac{r \cdot \tau_{ср} \cdot d^2}{4} \cdot \left[\pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) + \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) \right) \right]. \end{aligned} \tag{11}$$

Работа силы сопротивления равна [3]:

$$A = M_{сопр} \cdot \alpha . \tag{12}$$

В то же время:

$$A = m_{муф} \cdot \ddot{l} \cdot l , \tag{13}$$

где $m_{муф}$ – масса полумуфты предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа землеройной машины.

С учётом выражений (8) и (11), приравнивая уравнения (12) и (13), получим:

$$m_{муф} \cdot r \cdot \ddot{\alpha} = \frac{\tau_{ср} \cdot d^2}{4} \cdot \left[\pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) + \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) \right) \right]. \tag{14}$$

После преобразований уравнения (14) получаем дифференциальное уравнение изменения ускорения полумуфты предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа землеройной машины в процессе среза пальца-штифта от текущего времени:

$$\ddot{\alpha} = \frac{\tau_{ср} d^2}{4 \cdot m_{муф} \cdot r} \cdot \left[\pi - 2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) + \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{d} \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \right) \right) \right]. \tag{15}$$

Текущий угол поворота полумуфты предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа землеройной машины изменяется в диапазоне $0 \le \alpha \le 2 \cdot \arcsin\frac{d}{2r}$.

Полученное дифференциальное уравнение (15) является сложным для решения аналитическим способом, поэтому выполним его графический анализ с целью определения аппроксимации с достаточной величиной ее достоверности и дальнейшего решения с целью определения времени среза пальца-штифта полумуфтой предохранительного устройства

трансмиссии рабочего органа землеройной машины. Учитывая вышеизложенное и выполнив необходимые преобразования и вычисления, получим графики изменения слагаемых уравнения ускорения полумуфты предохранительного устройства в зависимости от угла среза пальца-штифта

с учетом его возможного максимального значения $\alpha_{среза} = 2 \cdot \arcsin \frac{d}{2r}$ (см. рисунок 3).

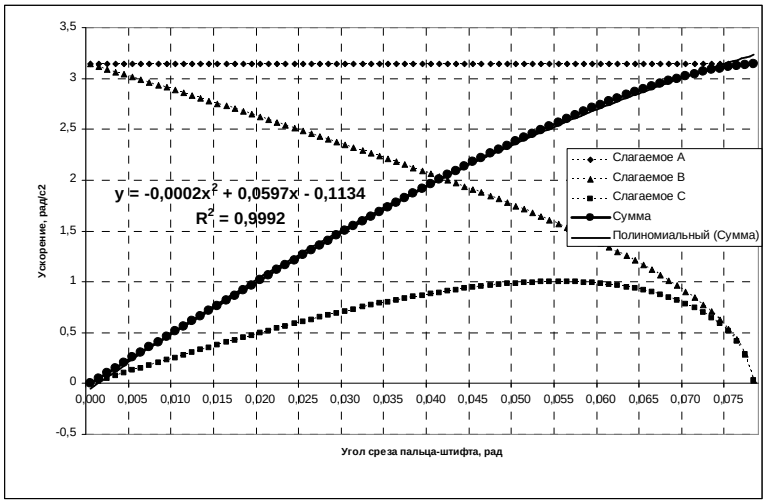

Рисунок 3 – График изменения ускорения полумуфты предохранительного устройства от угла среза пальца-штифта

На основании аппроксимации полиномом второй степени (с величиной достоверности аппроксимации $R = 0{,}9992$) графика изменения ускорения полумуфты, представленного на рисунке 4, запишем уравнение (15) в виде:

$$\ddot{\alpha} = -0{,}0002 \cdot \alpha^2 + 0{,}0597 \cdot \alpha - 0{,}1134 \qquad (16)$$

И далее преобразуем уравнение (16), получим:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 0{,}0002 \cdot \alpha^2 - 0{,}0597 \cdot \alpha = -0{,}1134 \qquad (17)$$

Для удобства вычислений уравнение (17) преобразуем в следующий вид:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + A_0 \cdot \alpha^2 + B_0 \cdot \alpha = C_0, \qquad (18)$$

где $A_0 = 0{,}0002$;

$B_0 = -0{,}0597$;

$C_0 = -0{,}1134$.

Для решения уравнения (18) введём замену следующего вида [60-3]:

$$\dot{\alpha} = \frac{d\alpha}{dt} = P \qquad (19)$$

где $\dot{\alpha}$ - текущая угловая скорость полумуфты в процессе среза пальца-штифта.

Тогда вторую производную $\ddot{\alpha}$ можно записать в виде:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{d\dot{\alpha}}{dt} = \frac{dP}{dt} = \frac{dP}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \dot{P} \cdot P \,. \tag{20}$$

Уравнение (18) с учётом (20) примет следующий вид:

$$P \cdot \dot{P} + A_0 \cdot \alpha^2 + B_0 \cdot \alpha = C_0 \tag{21}$$

Выполнив разделение переменных и проинтегрировав левую и правую части уравнения (21), получим:

$$P = \sqrt{-A_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \alpha^3 - B_0 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot C_0 \cdot \alpha + 2C_1} \,. \tag{22}$$

С учетом уравнений (19) и (22) уравнение изменения угловой скорости полумуфты в зависимости от угла среза пальца-штифта имеет следующий вид:

$$\dot{\alpha} = \sqrt{-A_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \alpha^3 - B_0 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot C_0 \cdot \alpha + 2C_1} \,. \tag{23}$$

В начальный момент среза пальца-штифта имеем:

$$\begin{cases} \alpha = 0 \\ \dot{\alpha} = \omega_0 \end{cases}. \tag{24}$$

Подставим начальные условия (24) в уравнение (23) и определим постоянную интегрирования – коэффициент C_1:

$$C_1 = \frac{\omega_0^2}{2}. \tag{25}$$

Таким образом, уравнение (23) с учётом (25) можно записать в следующем виде:

$$\dot{\alpha} = \sqrt{-A_0 \cdot \frac{2}{3} \cdot \alpha^3 - B_0 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot C_0 \cdot \alpha + \frac{\omega_0^2}{2}} \,. \tag{26}$$

Поскольку, уравнение (26) не имеет аналитического решения и решается численными методами, то предлагается замена подкоренного выражения в виде кубического многочлена на куб разности переменной и константы.

Согласно элементарной теории погрешностей замена подкоренного выражения в уравнении (26) составляет в нашем случае относительную погрешность для максимального значения угла среза пальца-штифта равную 0,006068%. С учетом изложенного после выполнения получим:

$$\dot{\alpha} = k_1 \cdot \sqrt{(\alpha - k_2)^3} \,, \tag{27}$$

где

$$k_1 = \sqrt{-A_0 \cdot \frac{2}{3}} \,, \tag{28}$$

$$k_2 = \frac{3 \cdot \omega_0^2}{A_0} \,. \tag{29}$$

Анализ графических представлений исходной функции подкоренного выражения в уравнении (26) и функции-замены подкоренного выражения в уравнении (27), которая представлена на рисунке 4, также демонстрирует достаточную точность для выполнения последующих вычислений.

Рисунок 4 – Сравнительный анализ зависимостей угловой скорости полумуфты предохранительного устройства в виде полинома третьей степени и куба разности двух чисел

После выполнения преобразований уравнение (27) принимает следующий вид:

$$\frac{1}{k_1}\cdot\left(\alpha-k_2\right)^{-\frac{3}{2}}\cdot d\alpha = dt\,. \tag{30}$$

Выполнив замену переменной и проинтегрировав правую и левую части данного уравнения (30) с учетом условия изменения угла поворота полумуфт предохранительного устройства α, определим время среза пальца-штифта предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа землеройной машины:

$$t = -\frac{2}{k_1}\cdot\left(\alpha-k_2\right)^{-\frac{1}{2}} + C_2\,, \tag{31}$$

где C_2 – постоянная интегрирования, определяемая на основании следующих начальных условий:

В начальный момент среза пальца-штифта имеем:

$$\begin{cases} t = 0 \\ \alpha = 0 \end{cases}. \tag{32}$$

С учетом начальных условий (32) и значений коэффициентов k_1 (28) и k_2 (29) постоянная интегрирования будет равна:

$$C_2 = \frac{\sqrt{2}}{\omega_0}. \quad (33)$$

Тогда с учетом равенства (33) уравнение (31) примет вид:

$$t = -\frac{2}{\sqrt{-A_0 \cdot \frac{2}{3}}} \cdot \left(\alpha - \frac{3 \cdot \omega_0^2}{A_0}\right)^{-\frac{1}{2}} + \frac{\sqrt{2}}{\omega_0}. \quad (34)$$

Выполнив преобразования уравнения (34), получим

$$t = \frac{\sqrt{2}}{\omega_0} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{A_0 \cdot \alpha}{3 \cdot \omega_0^2}}} + 1\right). \quad (35)$$

С учетом принятых значений для постоянных коэффициентов в уравнении (33) построим график изменения времени среза пальца-штифта в зависимости от изменения его угла среза, прочностных характеристик и угловой скорости вращения полумуфты предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа (см. рисунок 5).

Заключение.

Для выполнения необходимых расчетов по данной математической модели определения времени управления ГМР трансмиссии РО воспользуемся данными из технического описания и инструкции по эксплуатации

ПЗМ-2 [1]:

– масса полумуфты $m_{муф} = 6{,}82\ кг$;

– радиус окружности центральной линии среза пальца-штифта равен $r = 0{,}9\ м$;

– диаметр предохранительного пальца-штифта $d = 0{,}007\ м$;

– предел прочности на срез предохранительного пальца-штифта $\tau_{ср} = 50\ \frac{Н}{м^2}$;

– число оборотов карданного вала привода редуктора рабочего органа для I – скорости равно $n_1 = 140\ об/мин$; для II – скорости равно $n_2 = 370\ об/мин$.

Рисунок 5 – Зависимость изменения времени среза пальца-штифта от угловой скорости вращения полумуфт предохранительного устройства трансмиссии РО ПЗМ-2

С учётом приведённых выше параметров предохранительной муфты трансмиссии РО ПЗМ-2 время среза пальца-штифта её полумуфтами относительно друг-друга от числа оборотов карданного вала привода редуктора РО, в том числе и для диапазона рабочих скоростей $n_{1-2} = 140 \div 370\, об/мин$, будет изменяться в интервале от 1,21 до 0,46 с. Данный временной интервал является основным критерием при разработке конструкции ГМР ПЗМ-2 с целью обеспечения ее своевременного срабатывания в процессе стопорения трансмиссии РО о препятствие.

Список литературы

1. Полковая землеройная машина ПЗМ-2. Техническое описание, эксплуатация и хранение. - М.: Воен. издат., 1976. – 240 с.

2. Грузин В.В., Ильясов Б.Н. Разработка конструкции предохранительного устройства трансмиссии рабочего органа. Международный научный журнал «Актуальные проблемы современности». Серия «Технические науки», №1 (35) – Караганды: Болашак-Баспа, 2009. С. 21-23.

3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 976 с.

4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х томах. Т. 1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 728 с.

Түйін

Полкі жер қазатын машинаның сенімділігі мен жұмыстың тиімділігі қауіпсіздендіретін құрылғысы трансмиссиясыны құрылымда пайдалануысымен байланысты, жұмысшы құралында пайда болатын(шығатын) кедерістерді дағдылы тәртібінде қадағалау және уақытымен оның бірте- бірте терендетінді немесе түгел тоқтауға қамсыздандыруы. Жер астындағы ортада берік кірістірлерді жұмысшы құралдармен кенеттен соқтығып қалғанды ескергенде, өлшемдерді анықтауға талап ету керек –гидромеханикалық жамсыздануының реттегішті тиімді уақыттың ауқымыны.

Жер қазатын машинаның жұмысшы құралдың қауіпсіздендіретін құрылғысы трансмиссиясының басқару математикалық үлгісі әзірленген. Жұмыстық үдерістің талабымен, негіздік машинаның техникалық сипаттамасымен қауіпсіздендіретін құрылғысы басқаруының рационалды уақыт аралығы белгіленген.

Summary

Reliability and efficiency of the regimental earth digging machine depends on the application in the design of its safety device transmission, which allows automatically track out result resistance on implement, and timely provides its gradual tip out or full stop. Take into account suddenness of implement locking by strong inclusions in the soil ground, determination of criteria is required - a rational response of time to range hydromechanical regulator.

Mathematical model of safety device control of working body transmission for digger was constructed. Rational interval of control safety device was defined taking into account the requirements of workflow and specifications of vehicle.