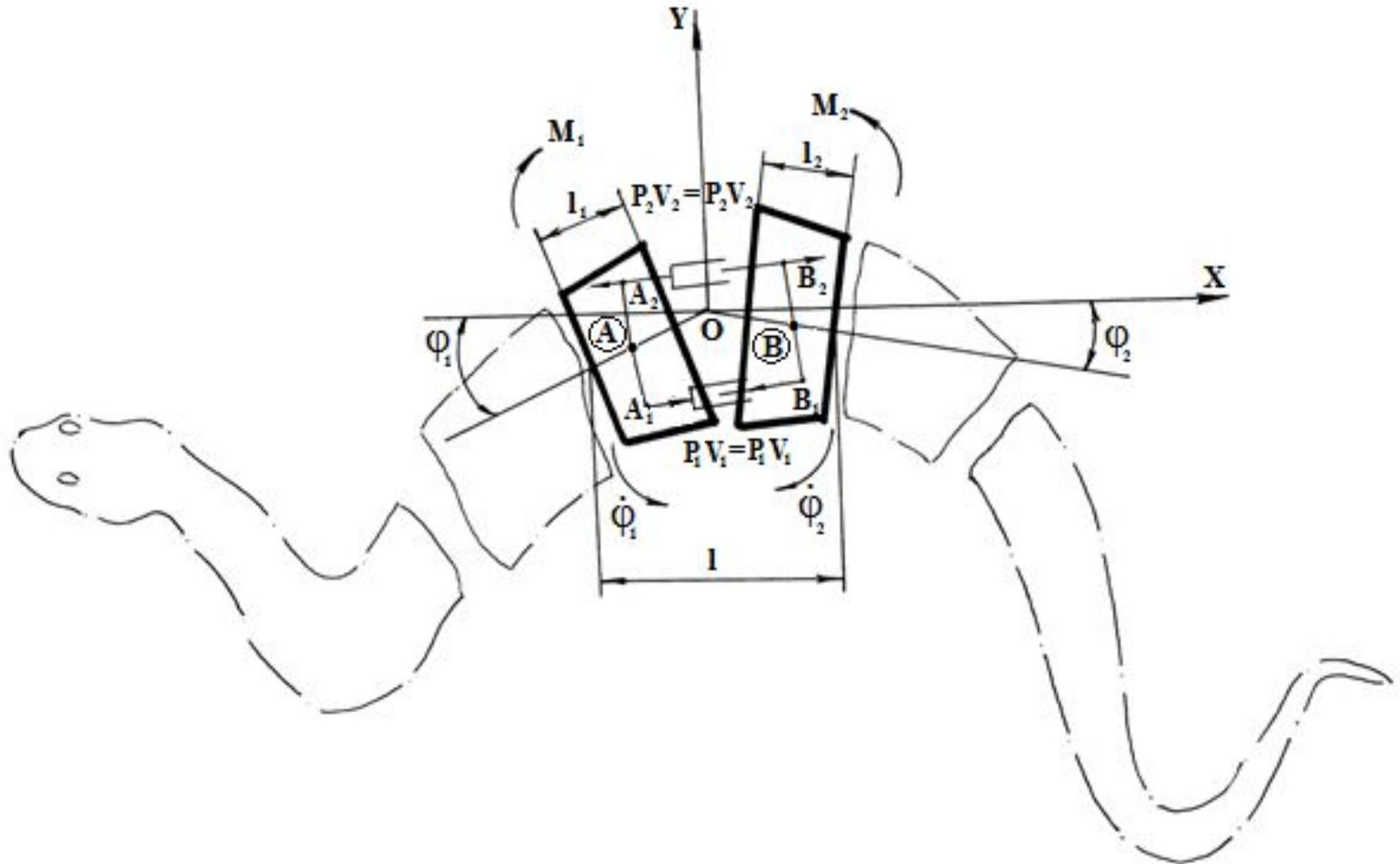


**К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 2**  
**МИМНИ**

# ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ УЖА



# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ВОЛНООБРАЗНОМ ДВИЖЕНИИ УЖА<sup>=1.</sup>

$$E = (M_1 \cdot \varphi_1 + M_2 \cdot \varphi_2) + 0.5[I_1(\dot{\varphi}_1)^2 + I_2(\dot{\varphi}_2)^2]$$

$$I(\varphi(\cdot)) = \int_{t_0}^{t_1} E(t, \varphi, \dot{\varphi}) dt + \Omega(\varphi(t_0), \varphi(t_1)) \rightarrow \text{MIN}$$

$$C^\circ = \{\varphi(\cdot) | \varphi(0) = 0, \varphi(T) = \varphi_k\}^n$$

$$\varphi(\cdot) \in \{C^1(t_0, t_1)\}^n$$

$$L = \lambda_0 \int_0^T E(\varphi, \dot{\varphi}) dt + \mu_0 \varphi_1(0) + \mu_1 \varphi_2(0) + \mu_2(\varphi_1(T) - \varphi_{k1}) + \mu_3(\varphi_2(T) - \varphi_{k2})$$

$$-\frac{d}{dt} L\dot{\varphi} + L_\varphi = 0 \rightarrow \begin{cases} \lambda_0(-I_1\ddot{\varphi}_1 + M_1) = 0 \\ \lambda_0(-I_2\ddot{\varphi}_2 + M_2) = 0 \end{cases}$$

$$\mu_0 = \mu_1 = 0 \quad \mu_2 \quad \text{и} \quad \mu_3 \neq 0 \quad \lambda_0 L\dot{\varphi}|_{0, T} = (-1)^j \mu_j \quad M_1 \varphi_1 = M_2 \varphi_2$$

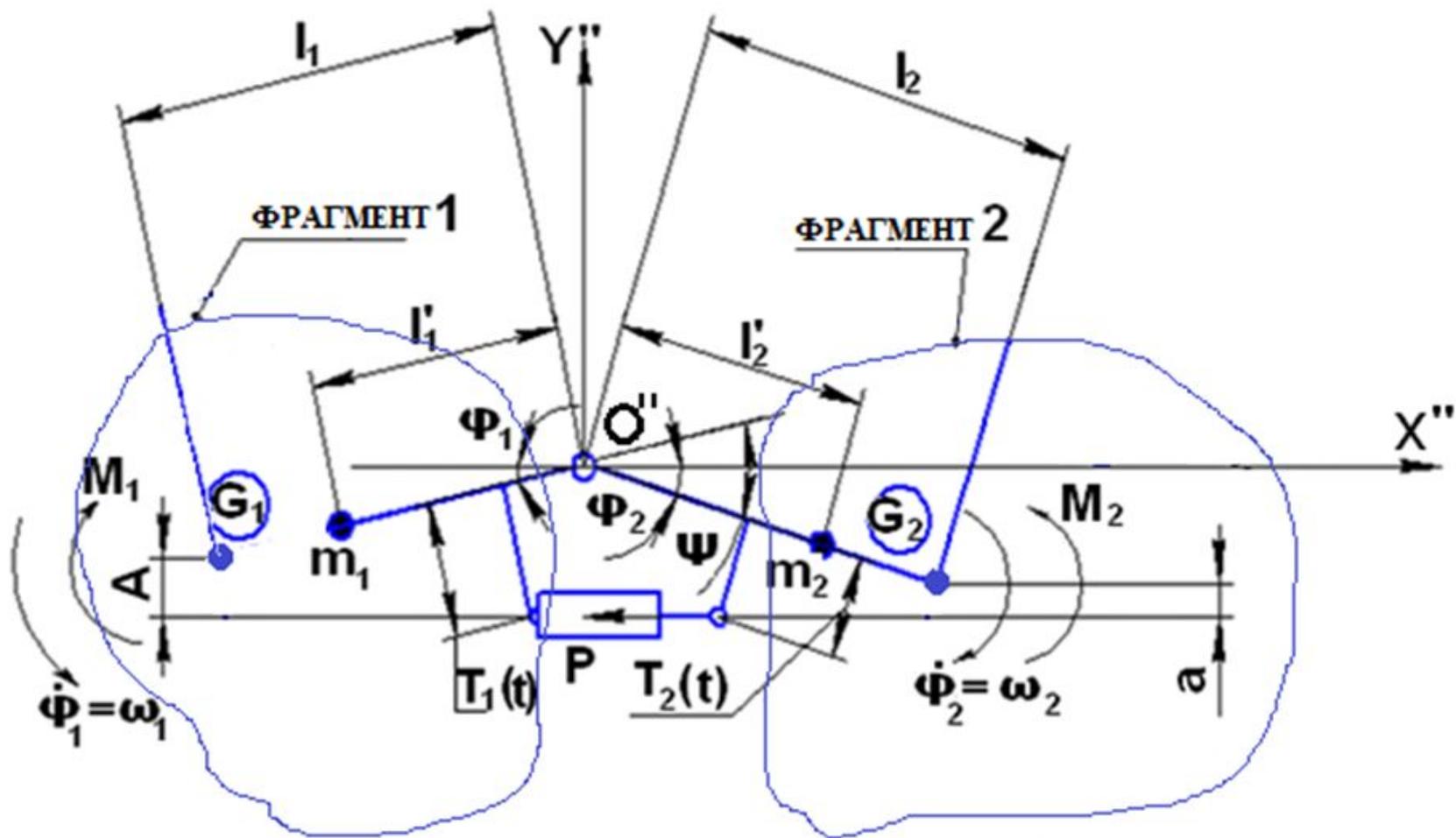
$$\lambda_0 \neq 0 \quad \lambda_0 = 1.$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{I_1 \ddot{\varphi}_1}{I_2 \ddot{\varphi}_2}$$

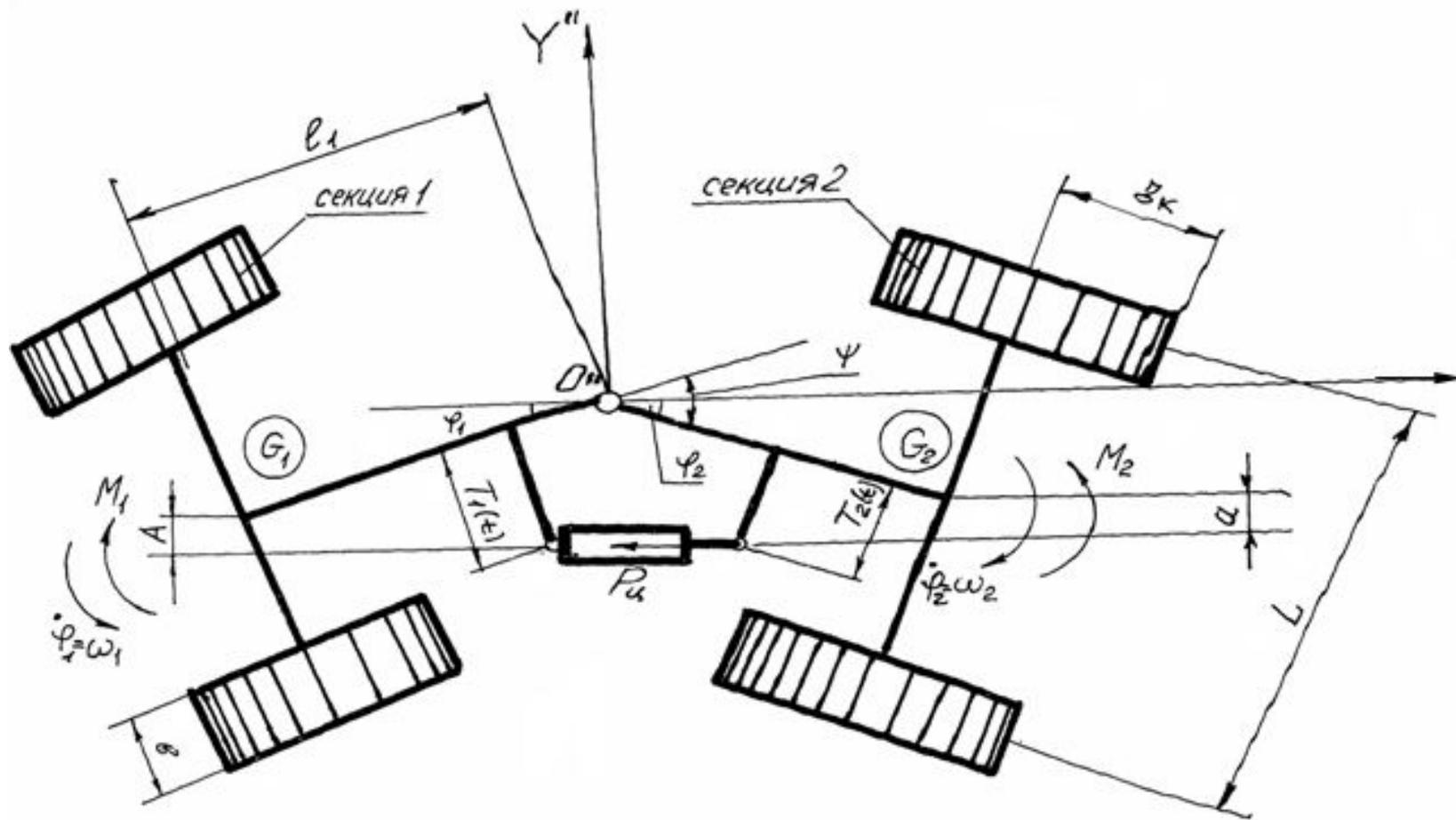
$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{M_1}{M_2} = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial(\dot{\varphi})^2} > 0$$

# РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ УЖА



# РАСЧЕТНАЯ СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДЫВАНИЯ ШАРИРНО – СОЧЛЕНЕННОГО КОЛЕСНОГО ШАССИ



# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

$$E_c = E_1 + E_2$$

$$E_1 = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 \quad E_2 = 0,5[J_1(\varphi_1)^2 + J_2(\varphi_2)^2]$$

$$\min E_c = \min (E_1 + E_2) = \min E_1 + \min E_2$$

$$K_c = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad \varphi_1 = \frac{\varphi_2}{K_c} \quad \varphi_2 = K_c \varphi_1$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_1}{\partial \varphi_1} = M_1 + M_2 K_c = 0 \\ \frac{\partial E_1}{\partial \varphi_2} = \frac{M_1}{K_c} + M_2 = 0 \end{aligned} \right\} K_c = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{M_1}{M_2}$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 = \frac{\varphi_1}{t} \quad \varphi_2 = \frac{\varphi_2}{t} \\ \frac{\partial E_c}{\partial \varphi_1} = M_1 + \frac{J_1 \varphi_1}{t^2} = 0 \\ \frac{\partial E_c}{\partial \varphi_2} = M_2 + \frac{J_2 \varphi_2}{t^2} = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} M_1 + \frac{J_1 \varphi_1}{t^2} &= 0 \\ M_2 + \frac{J_2 K_c \varphi_1}{t^2} &= 0 \end{aligned} \right\} K_c = \sqrt{\frac{J_1}{J_2}} \quad K_c = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{M_1}{M_2} = \sqrt{\frac{J_1}{J_2}}$$

$$E_c = \frac{M_1 \varphi_2}{K_c} + M_2 \varphi_1 K_c + 0,5 \left( \frac{J_1 \varphi_2^2}{K_c^2 t^2} + \frac{J_2 \varphi_1^2 K_c^2}{t^2} \right) \quad \frac{dE_c}{dK_c} = -\frac{M_1 \varphi_2}{K_c^2} + M_2 \varphi_1 - \frac{J_1 \varphi_2^2}{K_c^3 t^2} + \frac{J_2 \varphi_1^2 K_c}{t^2}$$

$$\frac{dE_c}{dK_c} = -M_2 \varphi_1 + M_2 \varphi_1 - \frac{J_2 \varphi_2^2}{K_c t^2} + \frac{J_2 \varphi_2^2}{K_c t^2} = 0 \quad \frac{d^2 E_c}{dK_c^2} = \frac{2M_1 \varphi_2}{K_c^3} + \frac{3J_1 \varphi_2^2}{K_c^4 t^2} + \frac{J_2 \varphi_1^2}{t^2}$$

$$\frac{d^2 E_c}{dK_c^2} > 0$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{a}{A}$$

$$a_0^H = A_0^H \frac{M_{20}^H}{M_{10}^H} \quad dA_0 = \delta da_0$$

$$\frac{M_{20} + dM_{20}}{M_{10} + \delta dM_{20}} = \frac{a_0 + da_0}{A_0 - dA_0} \quad 2dA_0(M_{20} + dM_{20}) = dM_{20}(A_0 - a_0 \delta)$$

$$\int dA_0 = \delta \int da_0 + S$$

$$A_0 = A_0^H \left( \frac{3M_{20} - M_{20}^H}{2M_{20}} \right) \quad a_0 = \frac{A_0 M_{20}}{M_{10}}$$

$$A = A_0 \exp \left( \frac{M_2}{M_1 + M_2} \right) \omega t \quad a = \frac{AM_2}{M_1}$$

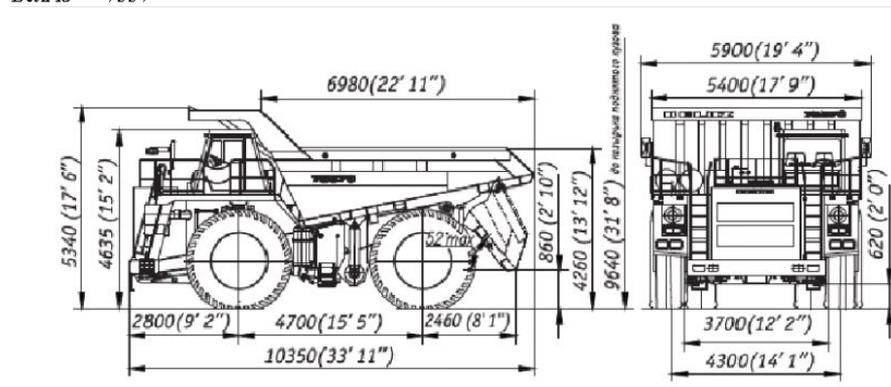
$$l_2^I = \sqrt{\frac{M_2^2}{M_1^2} \left( \frac{J_{10} + m_1 (l_1^I)^2}{m_2} \right) - \frac{J_{20}}{m_2}}$$

- Изложенные теоретические предпосылки легли в основу технического решения, признанного изобретением (“Трелевночно – транспортная машина”, по заявке 4942046/11, МКИ<sup>5</sup> В60Р3/40).

# Реальные объекты моделирования



БелАЗ — 7557



# Реальные объекты моделирования



# Реальные объекты моделирования (BELL - B60E)



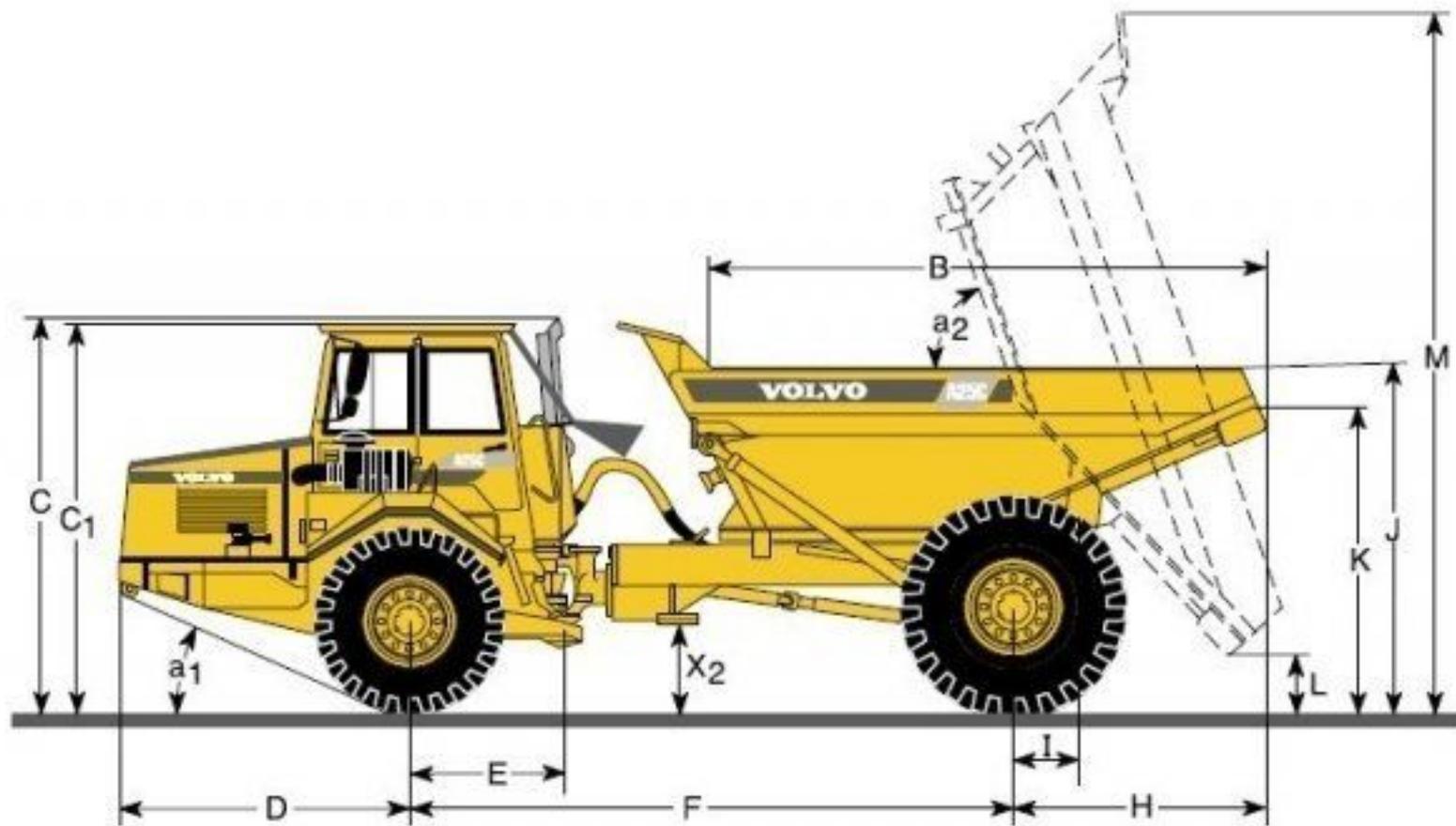
# Реальные объекты моделирования (BELL - B60E)



# Реальные объекты моделирования (VOLVO-A25C)



# Реальные объекты моделирования (VOLVO-A25C)



# Реальные объекты моделирования (“Кировец” К – 708.2)





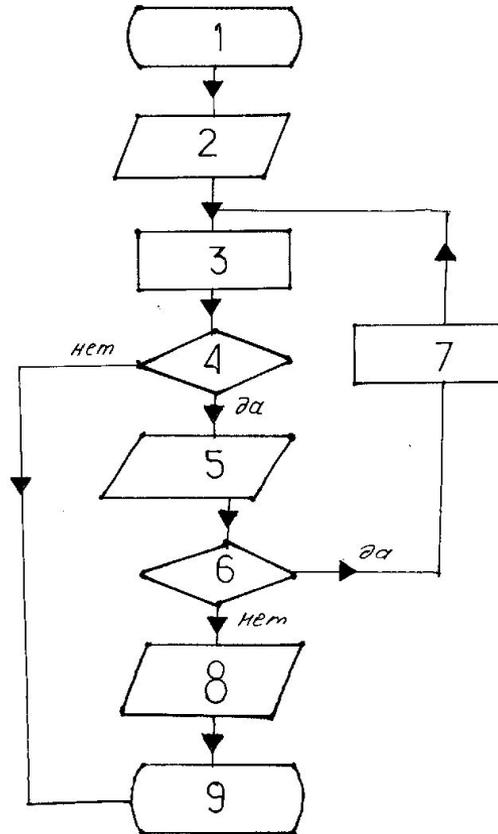
$$M_1 = \varphi_n G_{11} \frac{L^2 b k_\delta}{R_1 r_k}$$

$$G_{11} = \frac{G_1(l_1 + l_2 + l_{11}) + G_2 l_{22} - \varepsilon G_n l - (1 - \varepsilon) G_n \mu \cos \gamma h}{l_1 + l_2}$$

$$M_2 = \varphi_n G_{22} \frac{L^2 b k_\delta}{R_2 r_k} + (1 - \varepsilon) G_n \mu l \sin \gamma$$

$$G_{22} = \frac{G_2(l_1 + l_2 - l_{22}) - G_1 l_{11} + G_n [\varepsilon(l_1 + l_2 + l) + (1 - \varepsilon) \mu h \cos \gamma]}{l_1 + l_2}$$

$$\gamma = \frac{l_n}{R_2} + \frac{l_n}{V_0} \gamma_{\boxtimes}$$

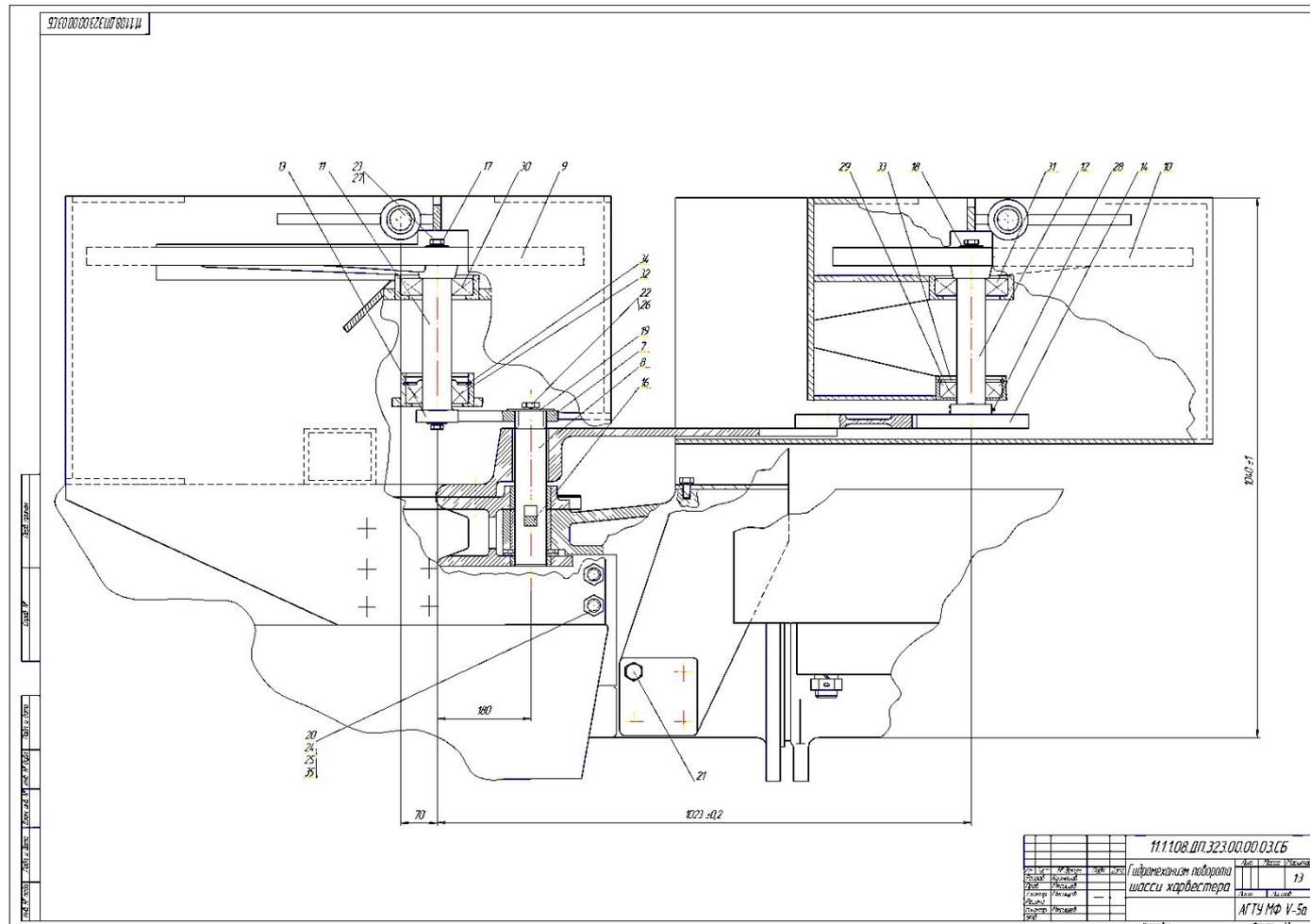


$$\gamma_{\boxtimes} = \gamma \frac{V_0}{l_n} - \frac{V_0 \sin \omega t}{l_2 \cos \omega t + l_1}$$

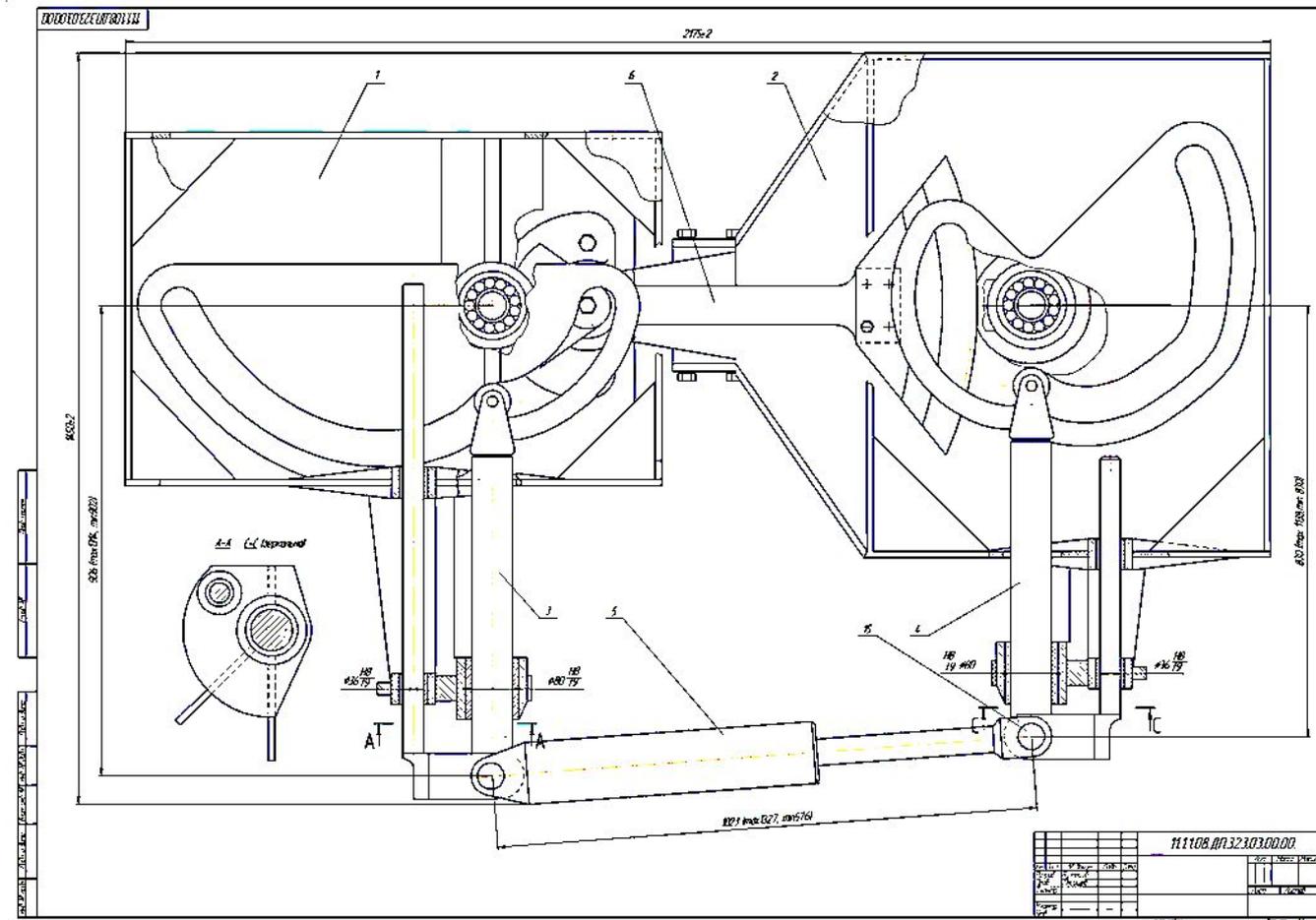
# Реальные объекты моделирования



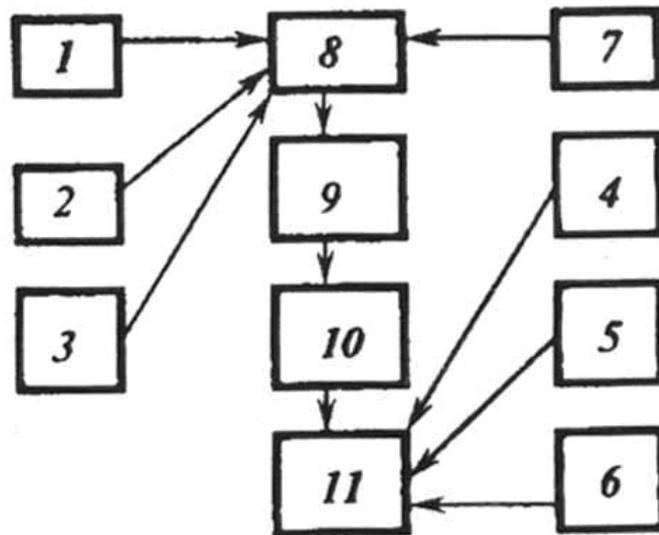
# Простейшая интерпретация технического решения



# Простейшая интерпретация технического решения

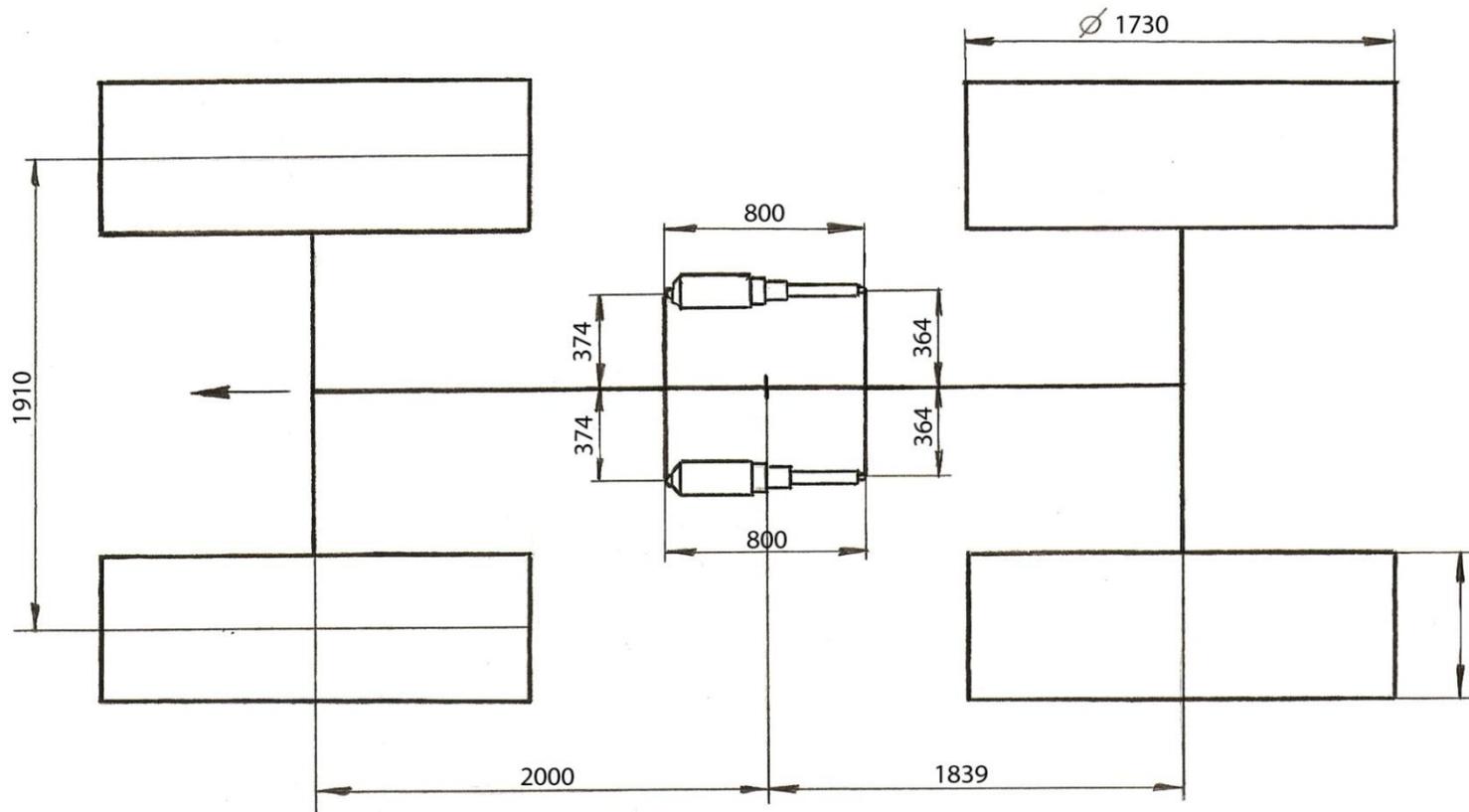


# Блок – схема микропроцессорной системы оптимального управления гидравлическим механизмом складывания полурам шасси колесной машины



На схеме обозначены: 1 – датчик текущего угла складывания  $\psi$ ; 2,3 – датчики моментов сопротивления повороту соответственно передней и задней полурам; 4,5 – сенсоры текущих значений  $T_1$  и  $T_2$ ; 6 – датчик адаптируемой базы  $\Gamma_2$ ; 7 – датчик транспортной нагрузки; 8 – аналого – цифровой преобразователь; 9 – микропроцессор; 10 – блок исполнительной электрогидравлической системы изменения параметров управления  $T_1$ ,  $T_2$  и  $\Gamma_2$ ; 11 – блок сравнения текущих значений параметров управления с вычисленными оптимальными величинами.

# Пример компоновочной схемы гидромеханизма поворота сочлененного колесного шасси



# ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАНЕВРА

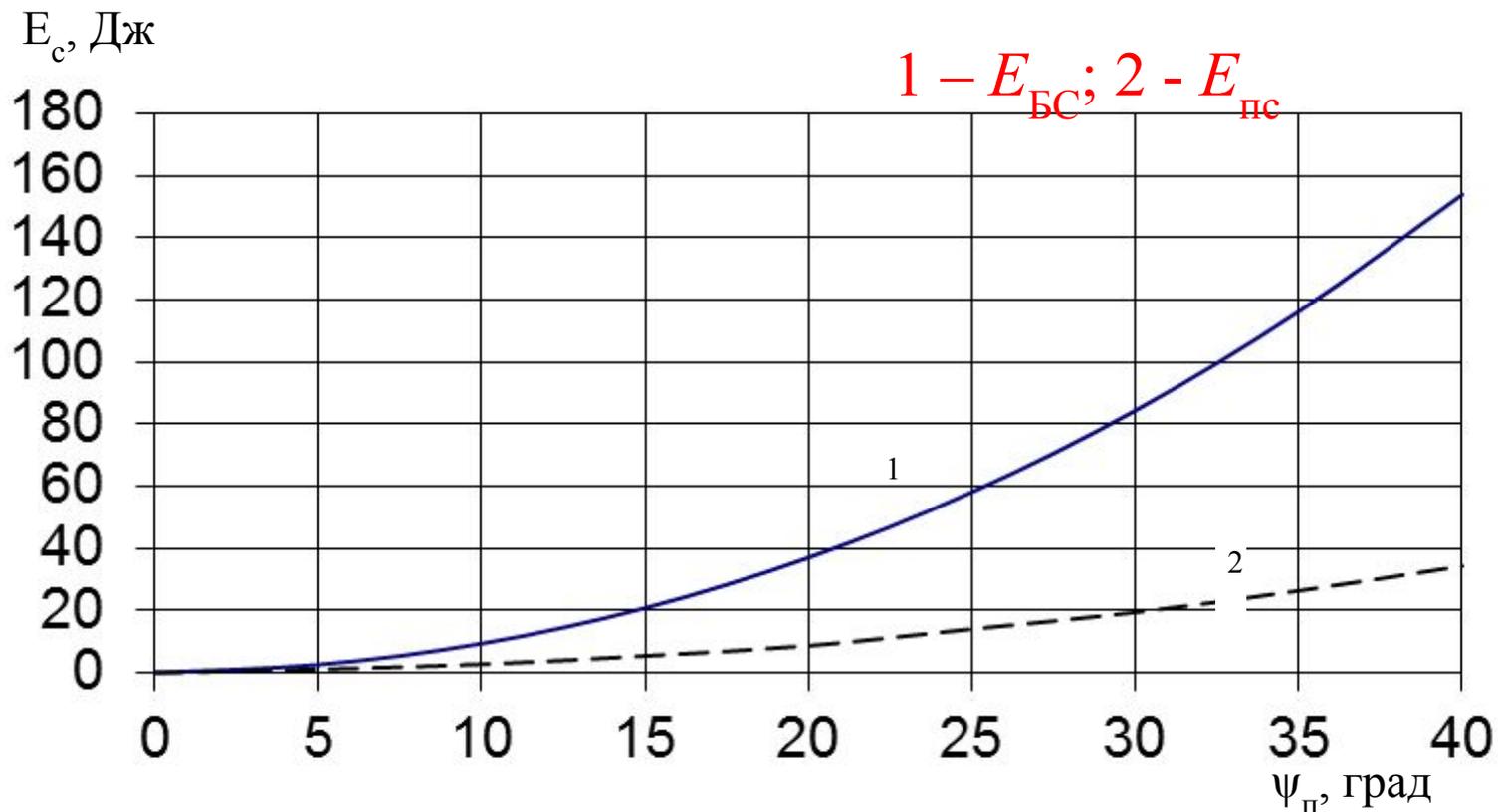
$$E_n = \frac{4f_n L_n^2 B_{\kappa} \gamma_{\delta} G_1 G_2}{D_{\kappa} (G_2 l_1 + G_1 l_2)} \ln \left( \frac{(l_1 + l_2)(G_1 + G_2)}{G_1 (l_2 \cos \psi_n + l_1) + G_2 (l_1 \cos \psi_n + l_2)} \right)$$

$$E_{n\kappa} = \frac{G_1 l_1^2 \varphi_1^2}{g t_n^2}$$

$$E_{nc} = E_n + E_{n\kappa}$$

Оценочные расчеты показали, что в сравнении с существующими схемами осуществления процесса маневра, предлагаемый вариант в среднем на 20 - 60% уменьшает энергоемкость рассматриваемого управления, в зависимости от параметров состояния транспортного средства.

# ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАНЕВРА

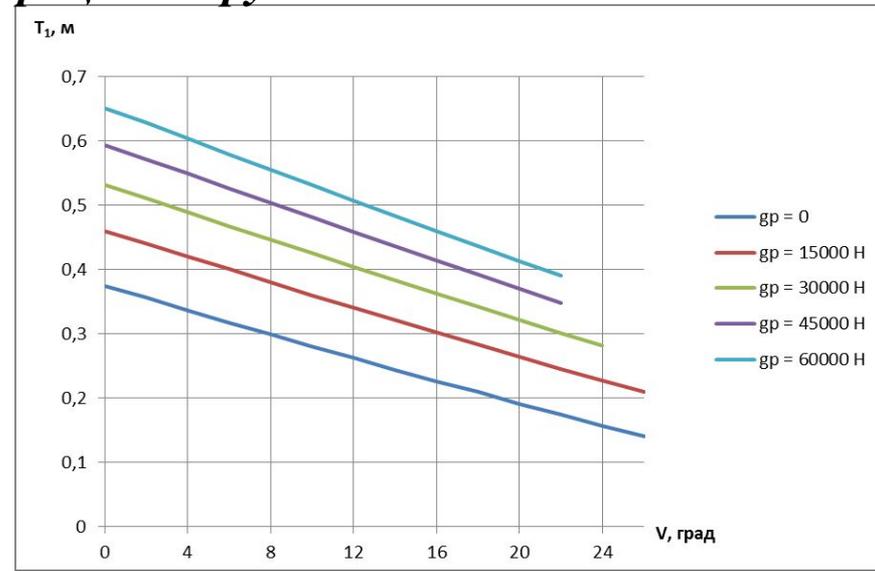
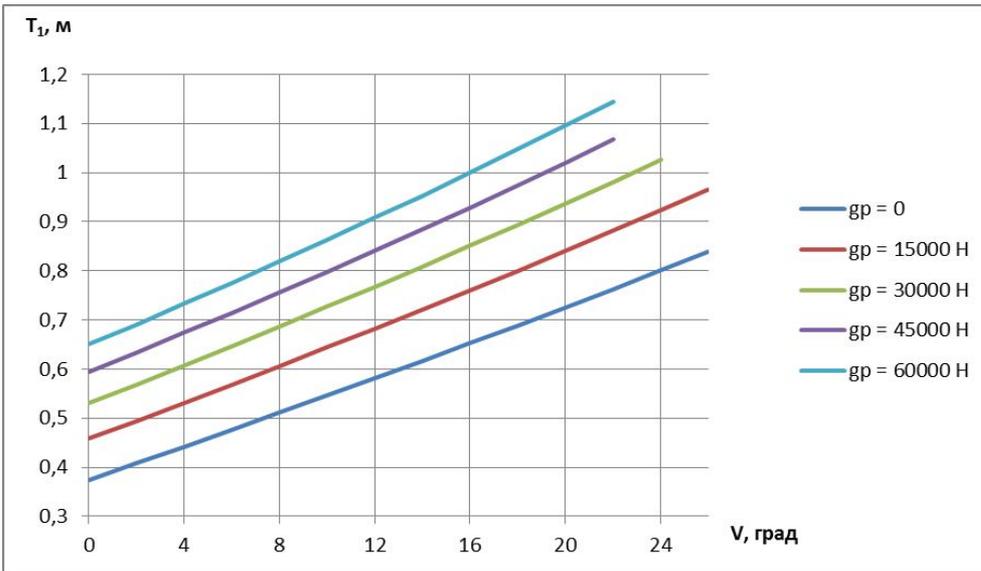


**Теоретически установлено, что возможно оптимальное управление процессом складывания полурам при повороте шарнирно-сочлененного транспортного-технологического шасси. Энергозатраты при этом в среднем на 68% меньше по сравнению с известными исполнительными устройствами осуществления аналогичного процесса.**

# Пример управления гидромеханизмом

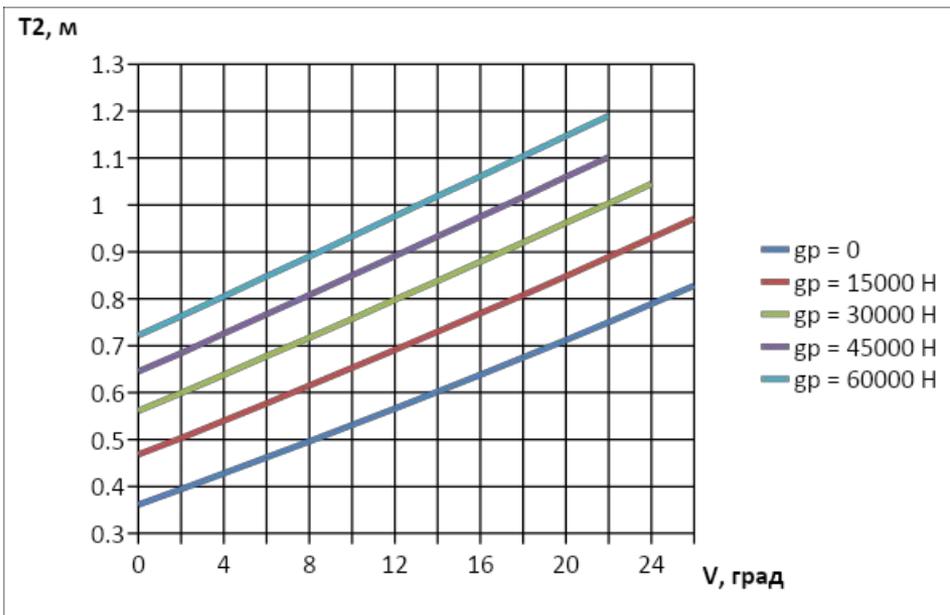
*В сторону гидроцилиндра*

*В сторону противоположную гидроцилиндру*

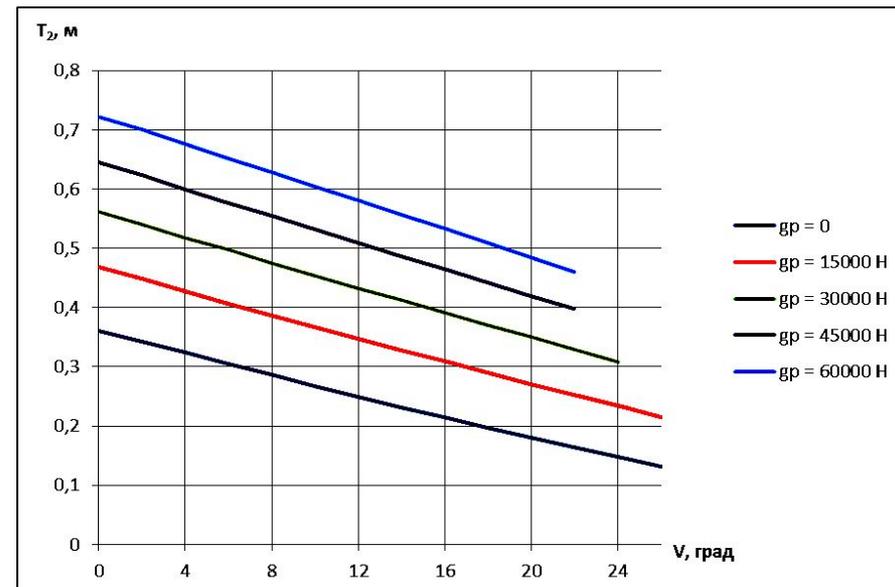


# Пример управления гидромеханизмом

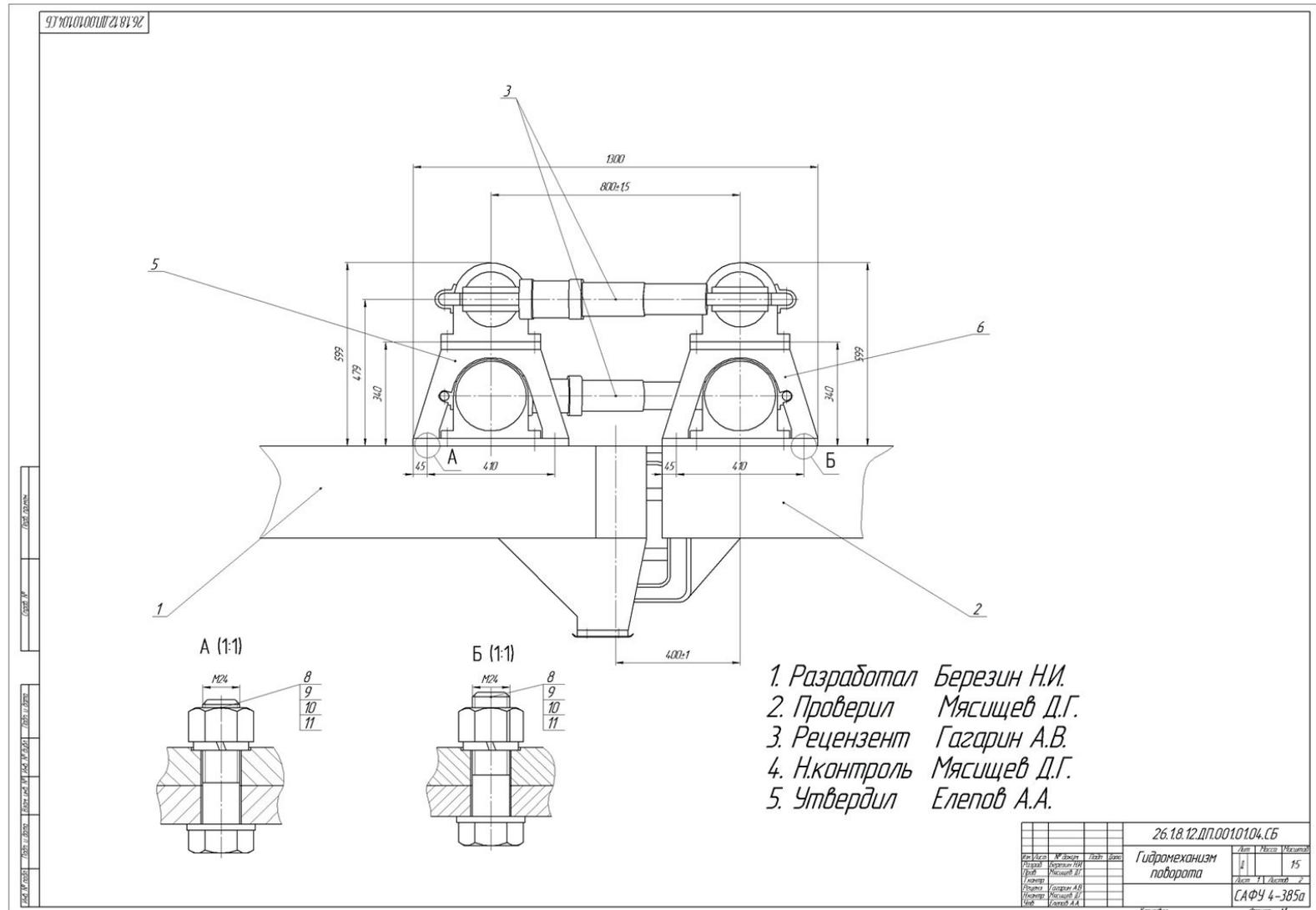
*В сторону гидроцилиндра*



*В сторону противоположную гидроцилиндру*



# Интерпретация общего технического решения



# Интерпретация общего технического решения

