



Численное моделирование, исследование и оптимизация процессов пуска и работы катушечного механизма

Выполнил студент гр. 63602/1

Руководитель, к.т.н., проф.

Соруководитель, асс.

И.А. Керестень

А.И. Боровков

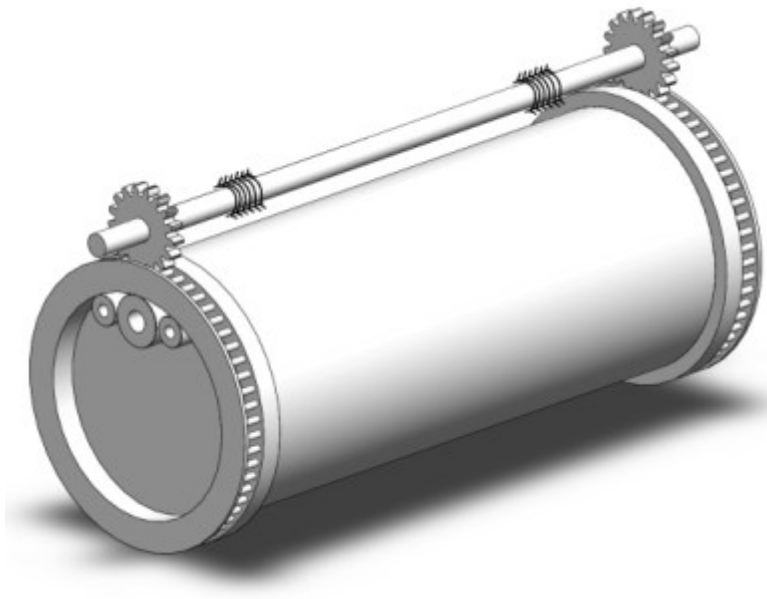
И.Б. Войнов

Санкт-Петербург

2015

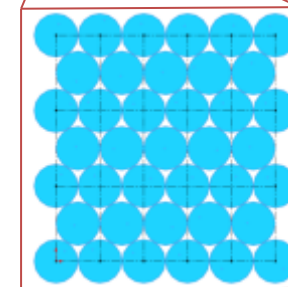
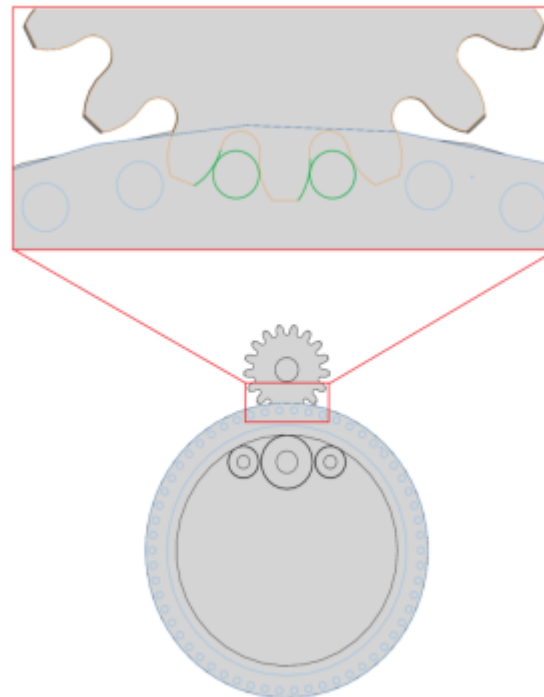
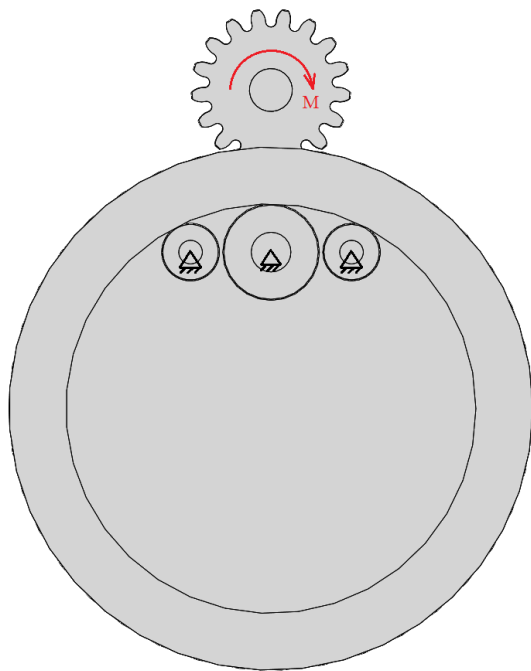
Введение

- Аналитическое и численное решение модельной задачи работы цевочного соединения в различных постановках
- Численный САЕ-анализ момента пуска катушечного механизма с построением аналитической оценки
- Численный САЕ-анализ работы катушечного механизма при наличии трения скольжения
- Эффект использования подшипников качения на исследуемые характеристики пуска и работы катушечного механизма

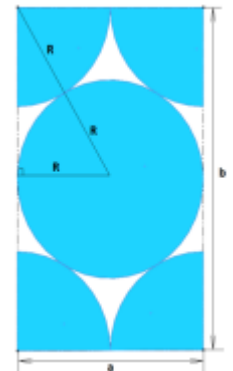


Особенности катушечного механизма

- 3 степени свободы у барабана
- Упаковка троса
- Контактная взаимосвязь цевочного зацепления
- Наличие радиального эксцентриситета у барабана
- Наличие технологических несовершенств цевочного зацепления

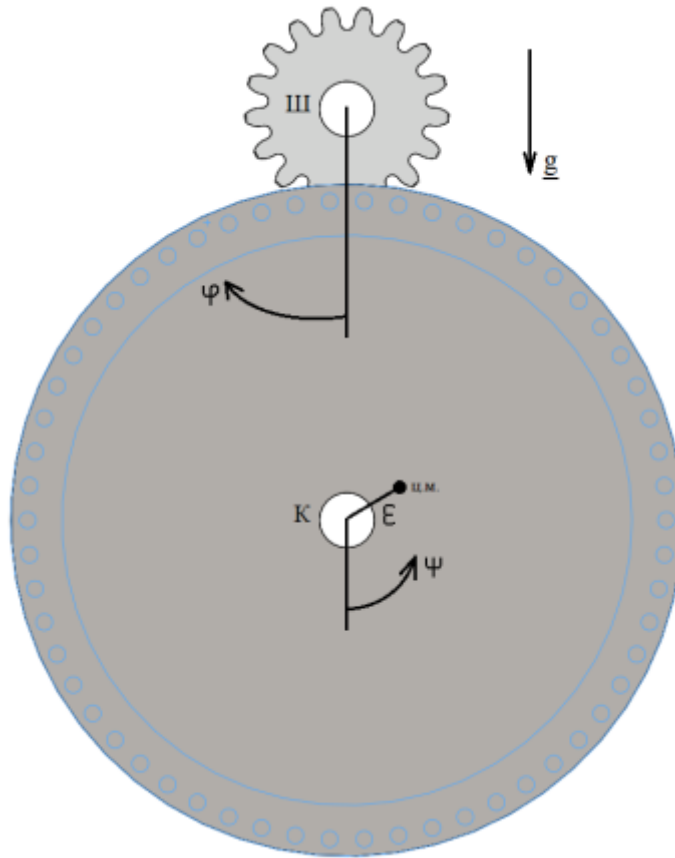


$$\tilde{\rho} \cong 0.9069\rho$$

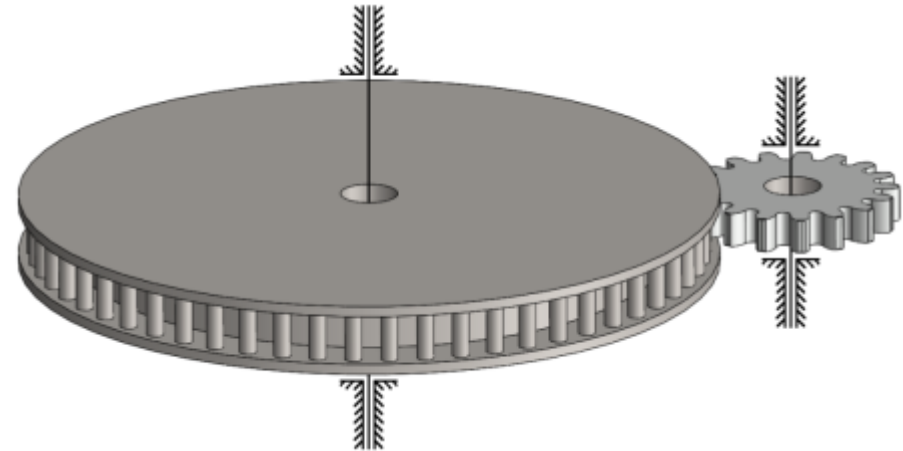
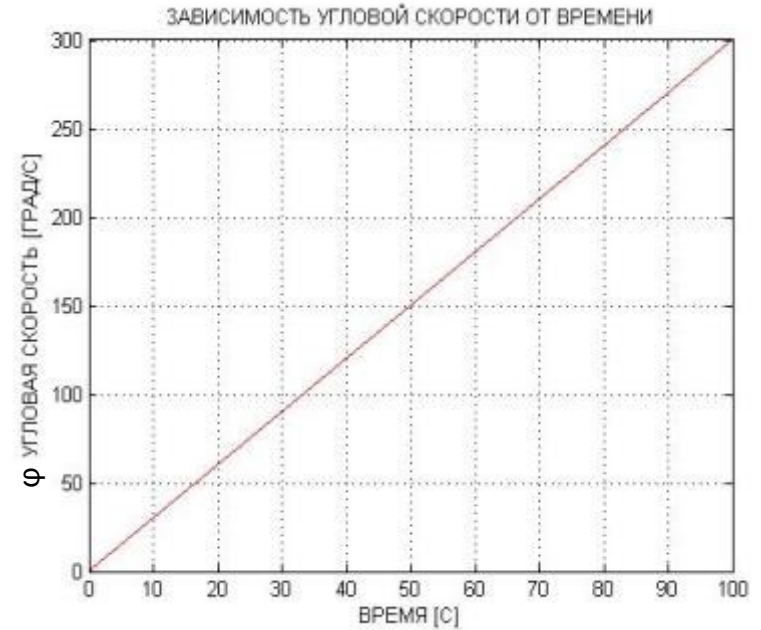


Постановка модельной задачи

$\varphi = i\psi$, где i – передаточное соотношение

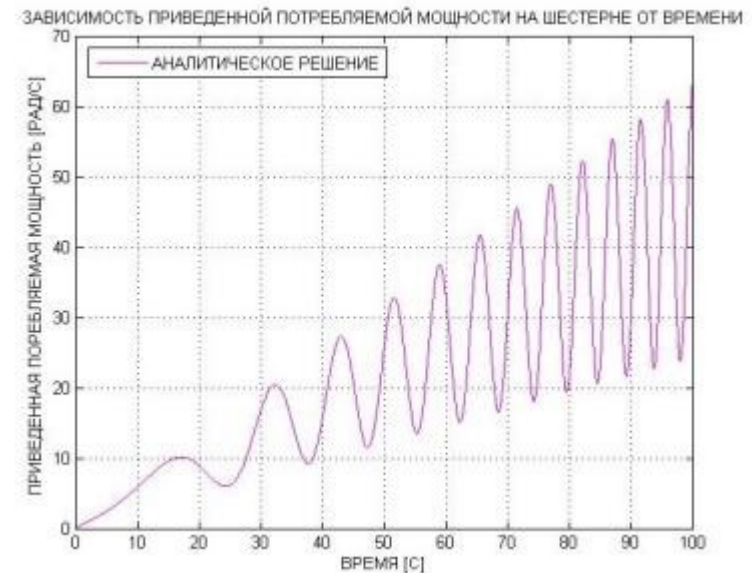
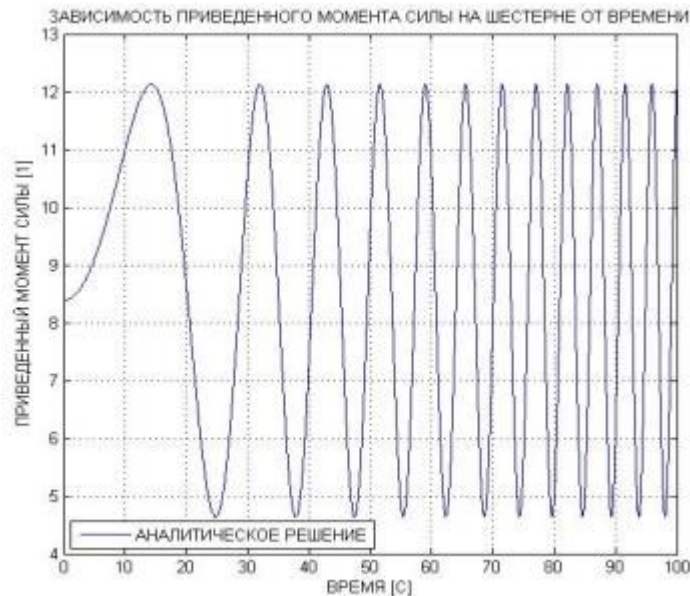


Ш – шестерня
К – колесо



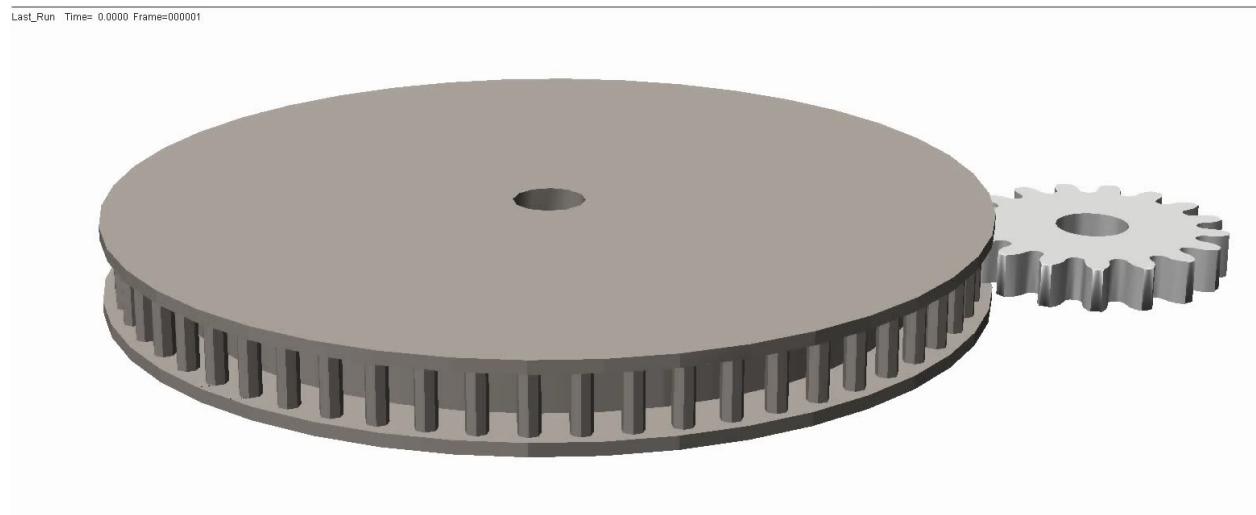
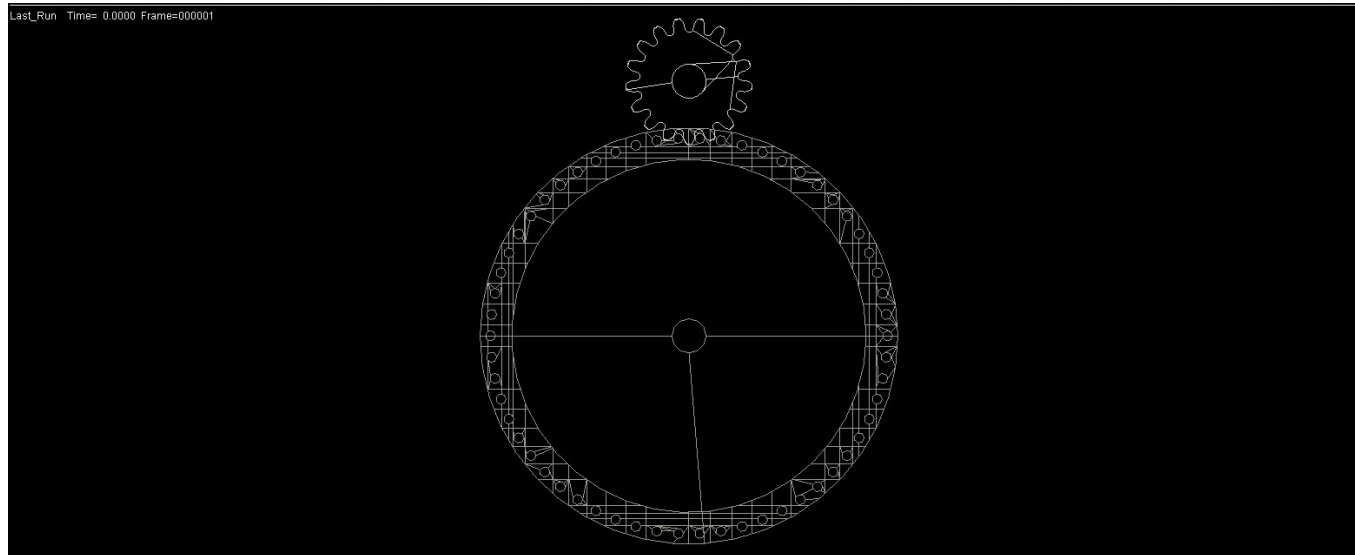
Модельная задача, аналитическое решение

$$T = \frac{J_{\text{ш}} \dot{\varphi}^2}{2} + \frac{(J_{\text{к}} + m_{\text{к}} \varepsilon^2) \left(\frac{\dot{\varphi}}{i} \right)^2}{2} \quad \Pi = m_{\text{к}} g \varepsilon \left(1 - \cos \frac{\varphi}{i} \right) + \Pi_0 \quad \dot{\varphi} = \frac{\pi}{60} t$$
$$M_{\text{ш}} = \left(J_{\text{ш}} + \frac{J_{\text{к}} + m_{\text{к}} \varepsilon^2}{i^2} \right) \ddot{\varphi} + \frac{m_{\text{к}} g \varepsilon}{i} \sin \frac{\varphi}{i} + \mu m_{\text{ш}} g r_{\text{ш}} + \mu m_{\text{к}} g r_{\text{к}} \quad P_{\text{ш}} = M_{\text{ш}} \dot{\varphi}$$
$$\tilde{M}_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{ш}}}{J_{\text{к}} \cdot |\ddot{\psi}|} \quad \tilde{P}_{\text{ш}} = \tilde{M}_{\text{ш}} \cdot \dot{\varphi} \quad \text{Где } P_{\text{ш}} - \text{потребляемая мощность на шестерне}$$





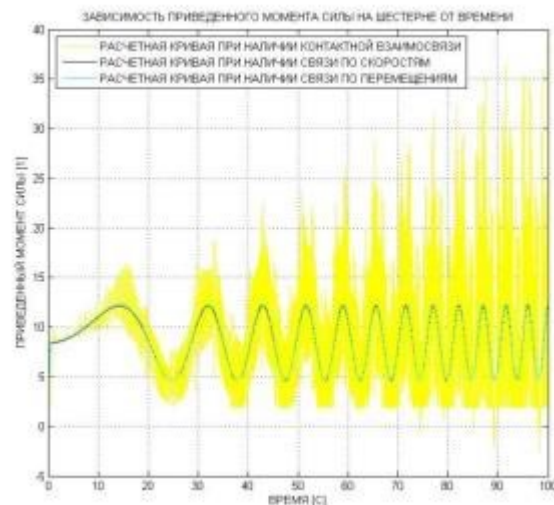
Моделирование работы цевочного соединения



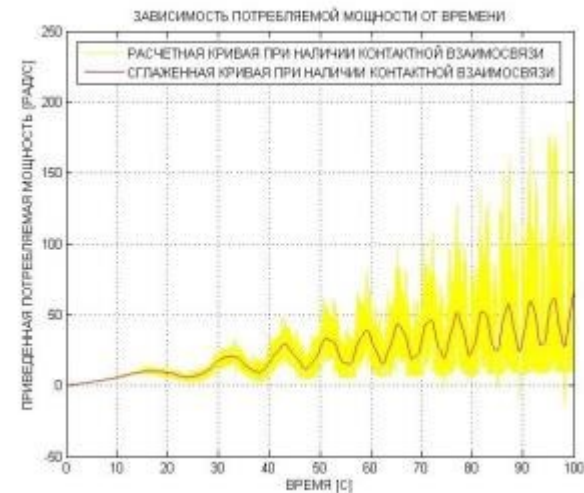
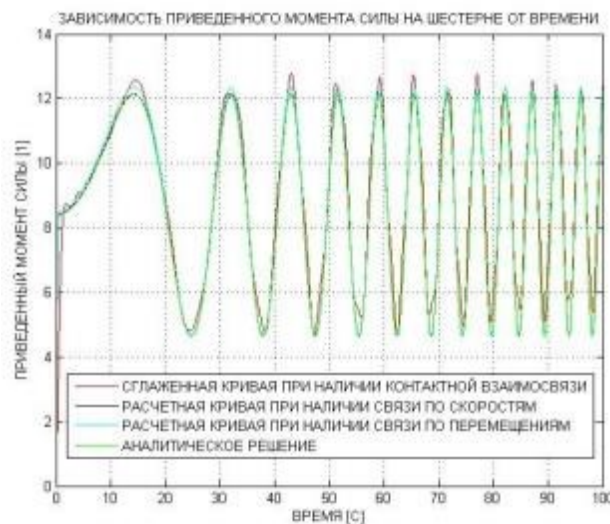
Модельная задача, численное решение

Численные постановки в пакете MSC.ADAMS:

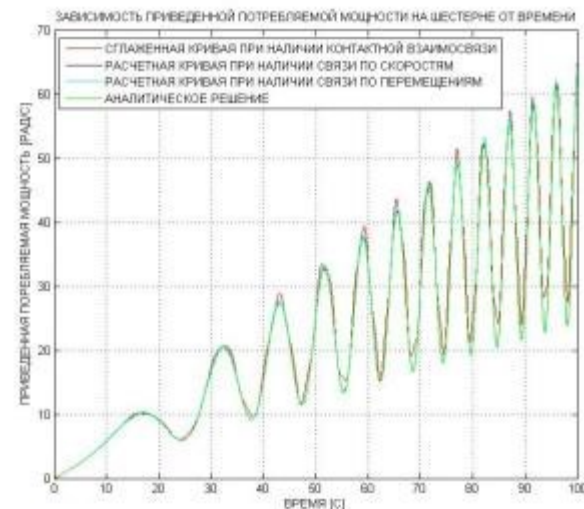
- Связь по перемещениям
 $\varphi = i\psi$
- Связь по скоростям
 $\dot{\varphi} = i\dot{\psi}$
- Расчет движения через контактную взаимосвязь



Приведенный внешний момент силы на шестерне



Приведенная потребляемая мощность на шестерне



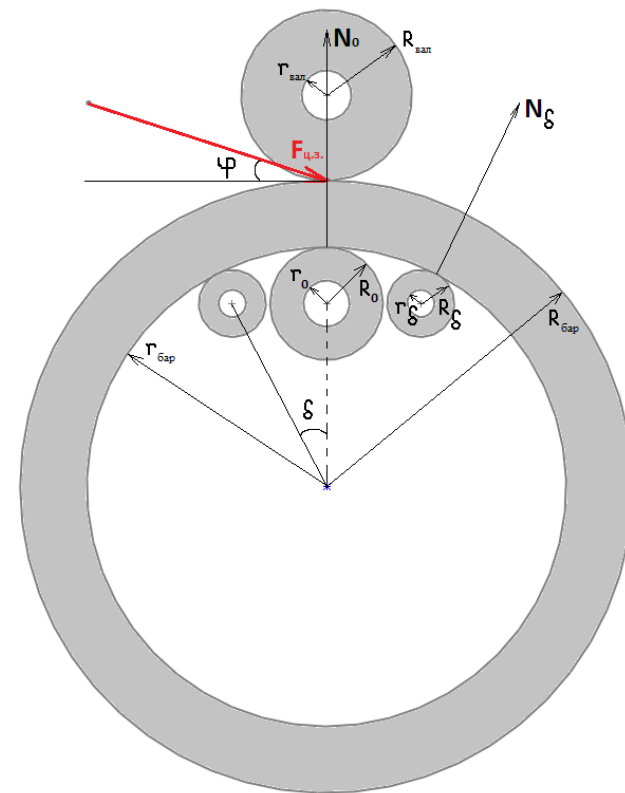
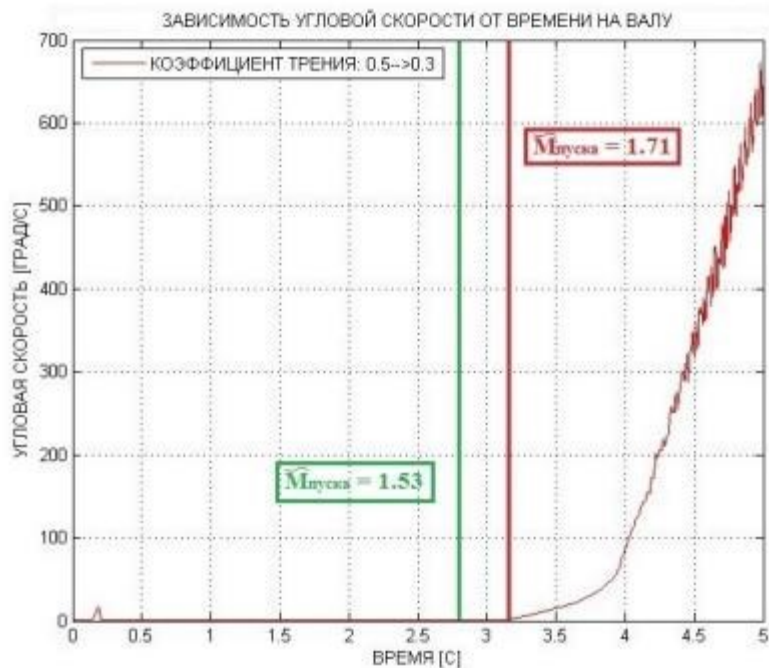
Пуск катушечного механизма

$$F_{ц.з.} = \frac{\frac{r_0}{R_0} N_0 + 2 \frac{r_\delta}{R_\delta} N_\delta + \frac{mg\varepsilon}{\mu r_{бар.}}}{\frac{\cos\varphi R_{бар.}}{\mu r_{бар.}} - \frac{\sin\varphi}{N_0 + 2N_\delta} \left(\frac{r_0}{R_0} N_0 + 2 \frac{r_\delta}{R_\delta} \frac{N_\delta}{\cos\delta} \right)}$$

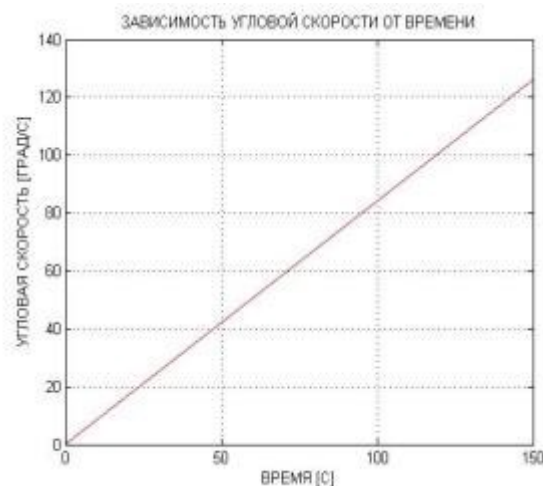
Где μ – коэффициент статического трения

$$M_{пуска} = \frac{R_{вал}}{\cos\varphi R_{бар.}} \left\{ \mu r_{бар.} \left[\frac{r_0}{R_0} N_0 + 2 \frac{r_\delta}{R_\delta} N_\delta + \frac{F_{ц.з.} \sin\varphi}{N_0 + 2N_\delta} \left(\frac{r_0}{R_0} N_0 + 2 \frac{r_\delta}{R_\delta} \frac{N_\delta}{\cos\delta} \right) \right] + mg\varepsilon \right\} + 2\mu r_{вал} \sqrt{\frac{1}{4} (P_{вал})^2 + (F_{ц.з.})^2 - P_{вал} F_{ц.з.} \sin\varphi}$$

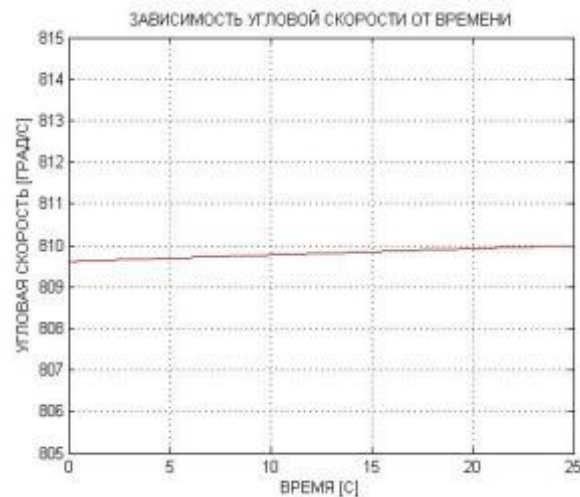
$$\tilde{M}_{пуска} = \frac{M_{пуска}}{\mu m g r_{вал}}$$



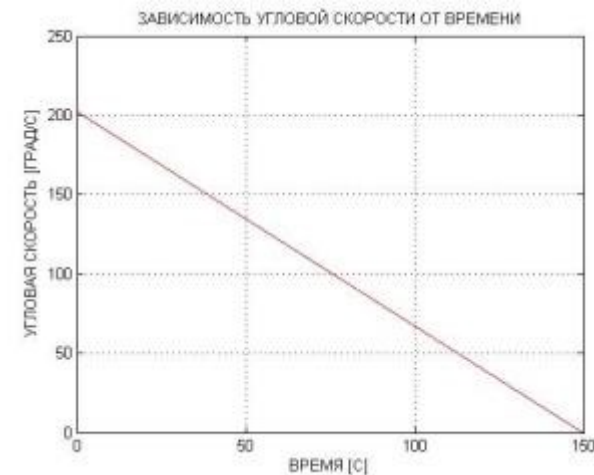
Описание закона движения катушечного механизма



Участок разгона



Участок с квазипостоянной скоростью



Участок торможения

$$\dot{\varphi}_{\text{разг.}} = \frac{7\pi}{1500} t$$

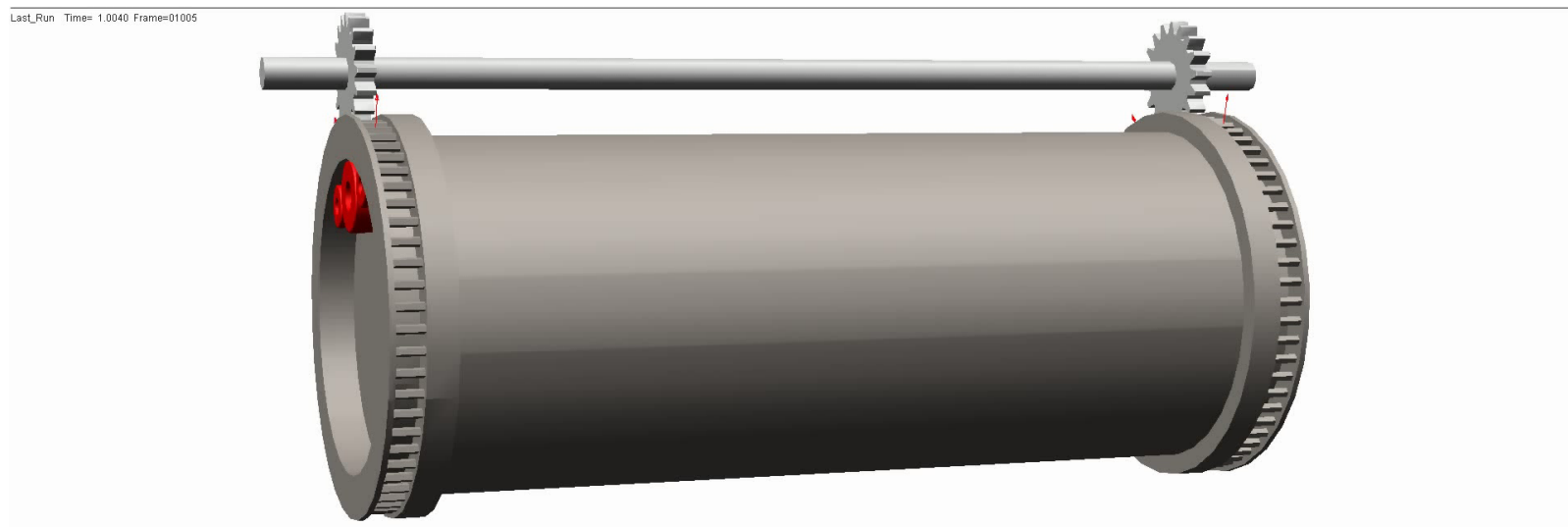
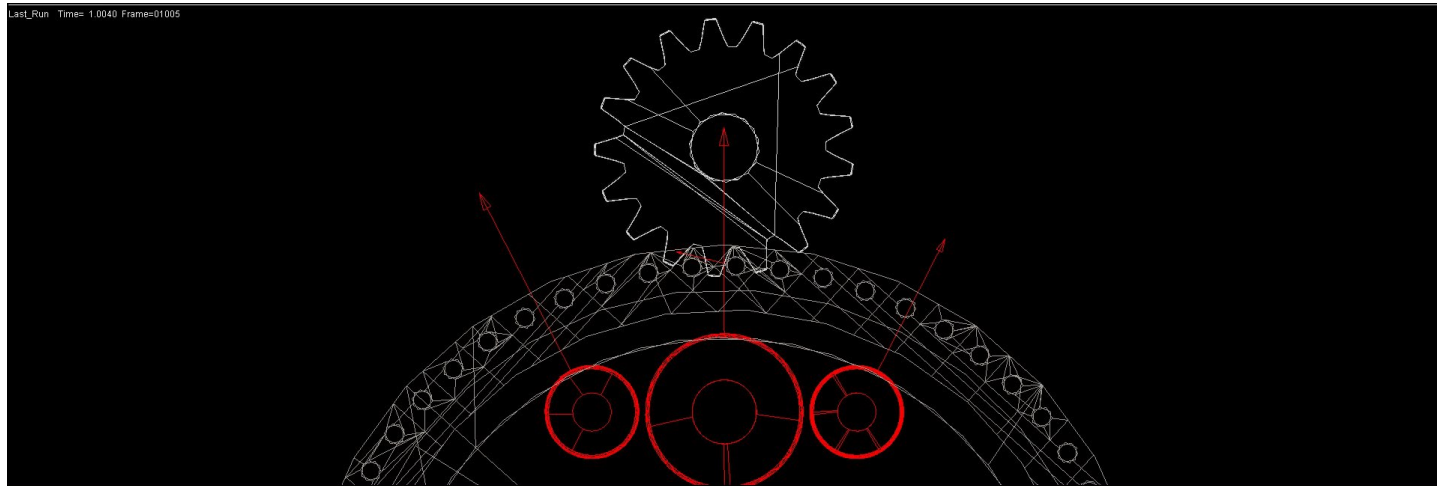
$$\dot{\varphi}_{\text{кв.пост.}} = \frac{31\pi}{360000} t + 1.4\pi$$

$$\dot{\varphi}_{\text{торм.}} = -\frac{3\pi}{400} t + 4.5\pi$$

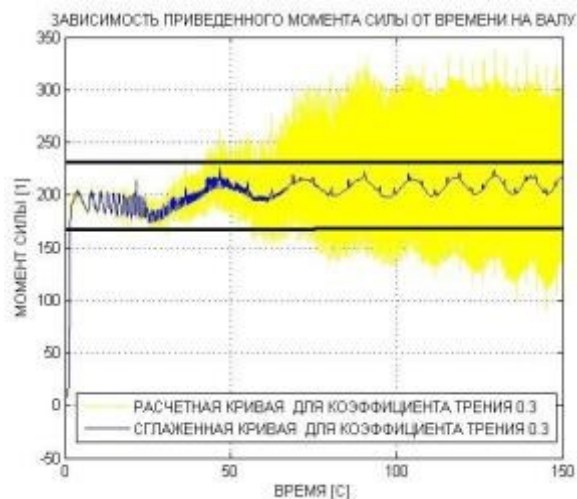
$$\tilde{M}_{\text{вал}} = \frac{M_{\text{вал}}}{J_{\text{бар.}} \cdot \frac{|\ddot{\varphi}|}{i}}$$

$$\tilde{P}_{\text{вал}} = \tilde{M}_{\text{вал}} \cdot \dot{\varphi}$$

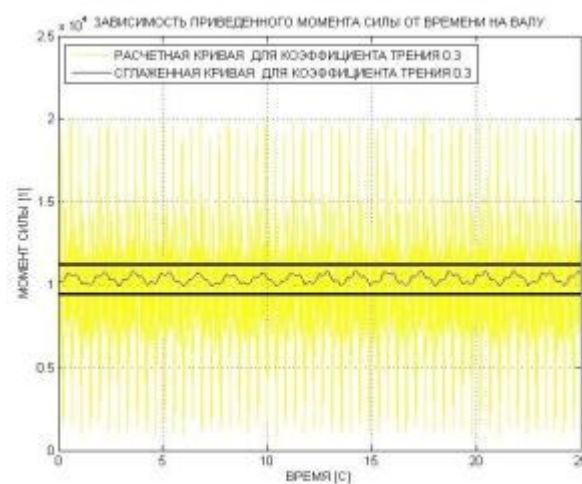
Моделирование работы катушечного механизма



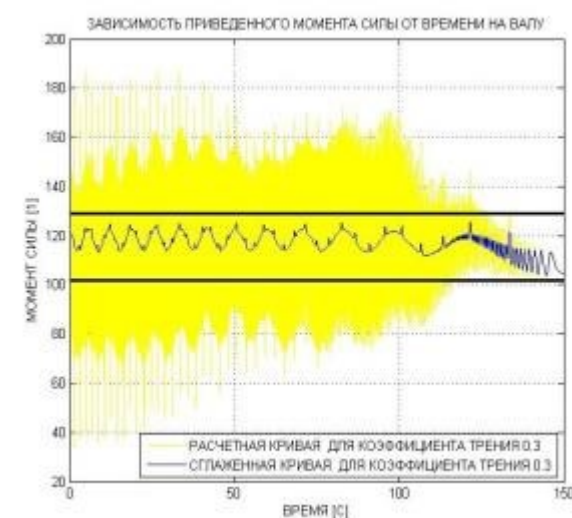
Моделирование работы катушечного механизма



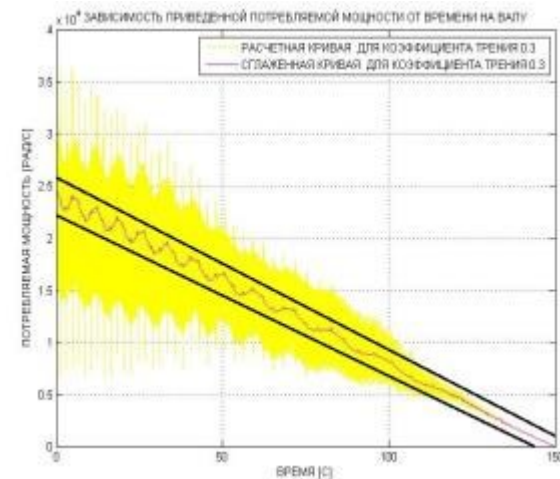
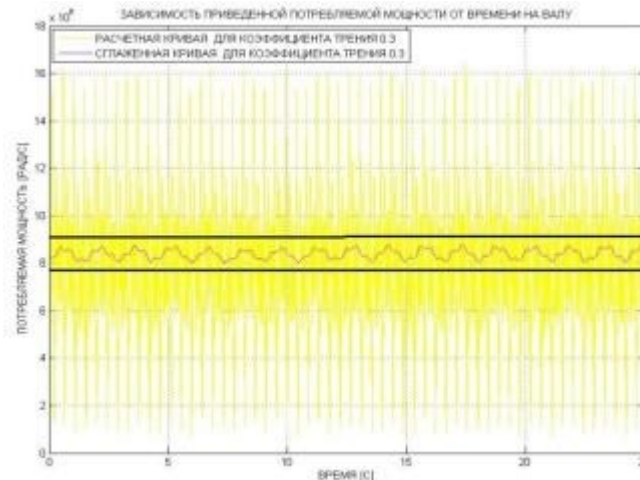
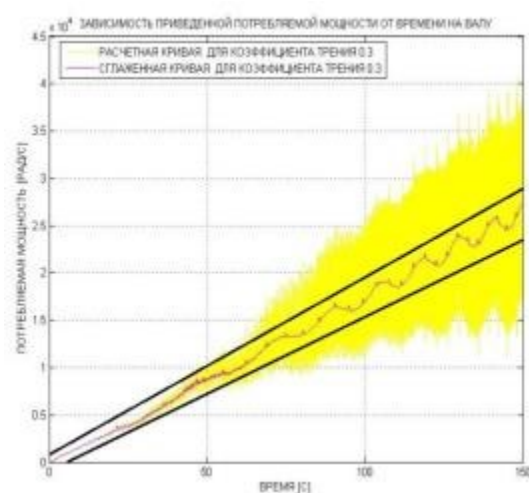
Участок разгона



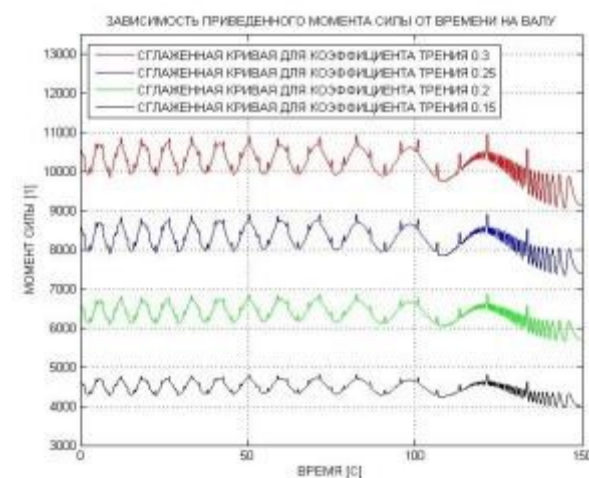
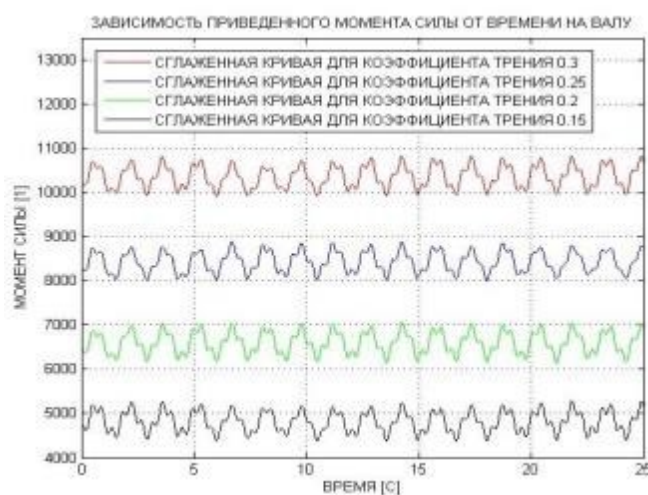
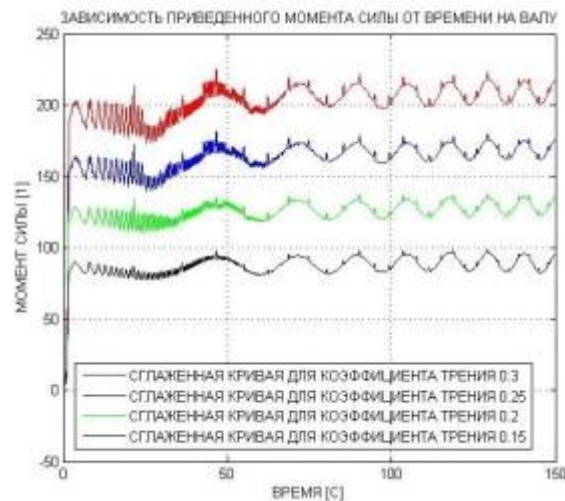
Участок с квазипостоянной скоростью



Участок торможения



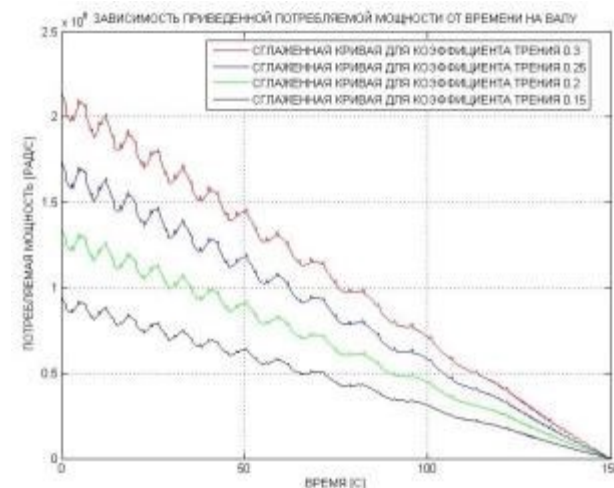
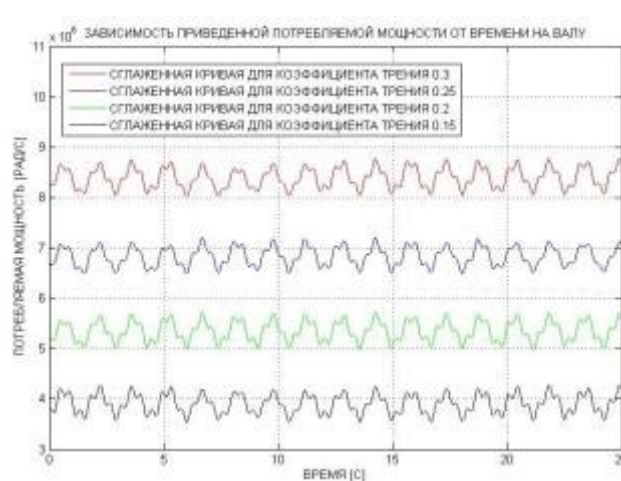
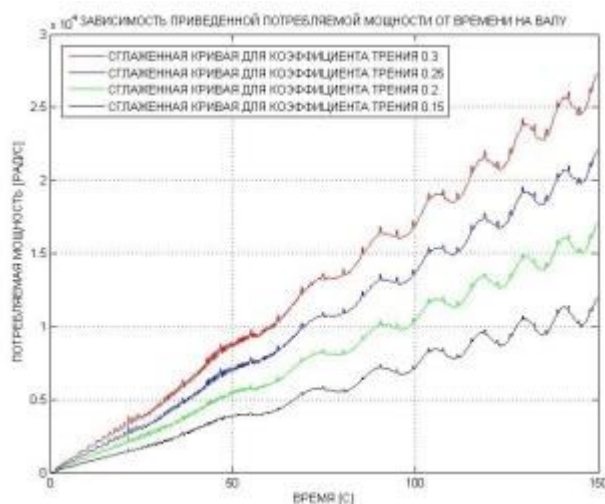
Вариация динамического коэффициента трения



Участок разгона

Участок с квазипостоянной скоростью

Участок торможения



Описание моделей подшипников качения

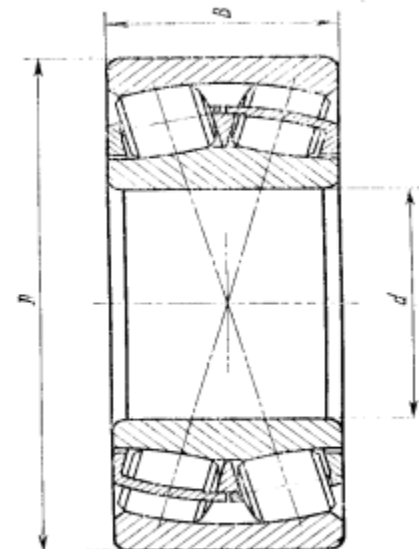
Модели трения подшипника:

- Модель идеального подшипника с нулевым коэффициентом трения
- Оценочная модель роликоподшипника с коэффициентом трения 0.0018^1
- Оценочная модель подшипника с коэффициентом трения 0.02^2
- Модель подшипника из модуля MSC.ADAMS/Machinery
- Эмпирическая модель трения подшипников шведской фирмы SKF

$$M = \Phi_{\text{нагр.}} \Phi_{\text{гол.}} M_{\text{кач.}} + M_{\text{ск.}} + M_{\text{упл.}} + M_{\text{сопр.}}$$

$$M_{\text{кач.}} = G_{\text{кач.}} (vn)^{0.6} \quad M_{\text{ск.}} = G_{\text{ск.}} [\Phi_{\text{см.тр.}} \mu_{\text{смаз.доб.}} + (1 - \Phi_{\text{см.тр.}}) \mu_{\text{смаз.пл.}}]$$

$$M_{\text{упл.}} = K_{\text{подш.1}} d_{\text{пов.}}^{\beta} + K_{\text{подш.2}} \quad M_{\text{сопр.}} = 10 V_{\text{мас.}} K_{\text{рол.}} B d_{\text{ср.}}^4 n^2$$



$$\Phi_{\text{нагр.}} = \frac{1}{1 + 1.84 \cdot 10^{-9} (n d_{\text{ср.}})^{1.28} v^{0.64}} \quad \Phi_{\text{гол.}} = \frac{1}{e^{\frac{K_{\text{смаз.гол.}} v n (d+D)}{\sqrt{\frac{K_{\text{подш.}}}{2(D-d)}}}}} \quad G_{\text{кач.}} = R_{\text{геом.кач.}} d_{\text{ср.}}^{2.3} F_{\text{рад.}}^{0.31}$$

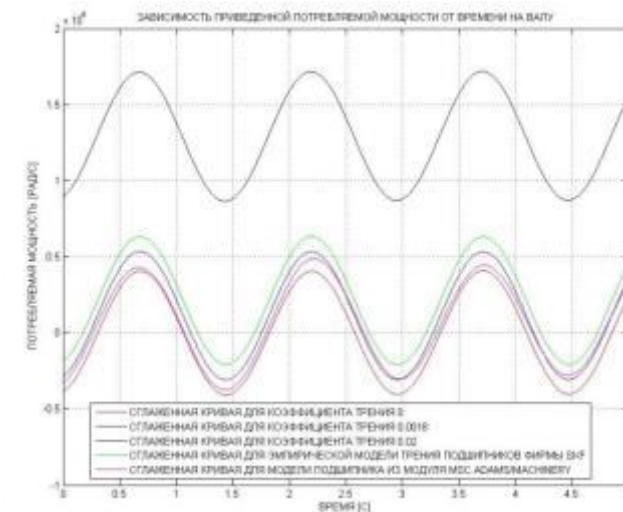
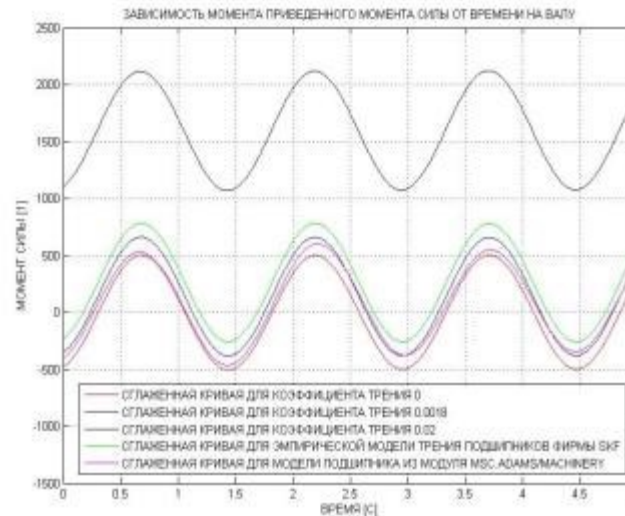
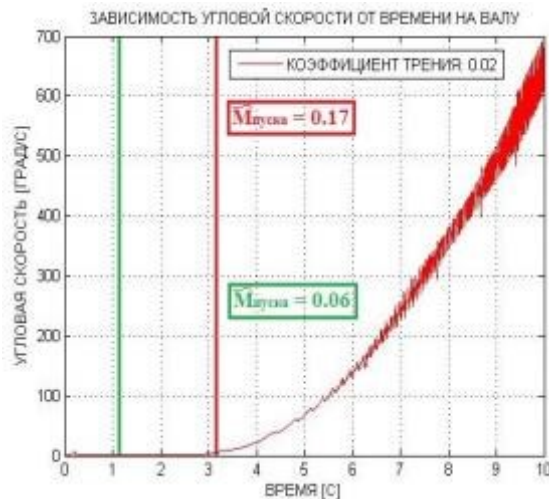
$$G_{\text{ск.}} = S_{\text{геом.ск.}} d_{\text{ср.}}^{0.94} F_{\text{рад.}} \quad \Phi_{\text{см.тр.}} = \frac{1}{e^{2.6 \cdot 10^{-8} (nv)^{1.4} d_{\text{ср.}}}} \quad K_{\text{рол.}} = \frac{K_{\text{тип}} K_{\text{подш.}} (D + d)}{D - d} \cdot 10^{-12}$$

¹Общий каталог подшипников качения SKF 1129 стр, 2006.

²Справочник по кранам. Т. 2. Под ред. А.И. Дукельского, Ленинград, «Машиностроение», 1973.

Применение подшипников качения к процессам пуска и работы катушечного механизма

Пуск катушечного механизма Работа катушечного механизма для центрального участка



Возможные направления модификации с целью минимизации момента пуска и потребляемой мощности:

- Балансировка барабана (уменьшение эксцентриситета)
- Изменение передаточных соотношений роликов (уменьшение радиуса втулки и увеличение радиуса ролика), увеличение передаточного соотношения цевочного зацепления
- Снижение коэффициента трения за счет изменения свойств материалов, использование смазочных материалов или использование подшипников качения
- Точная изготовка деталей цевочного соединения
- Снижение скоростного режима работы

Заключение

Выводы:

- Решена модельная задача работы цевочного соединения, проведена оценка возможностей применения различных подходов решения
- Проведен анализ пуска и работы катушечного механизма, определены возможные направления модификации с целью минимизации момента пуска и потребляемой мощности при движении механизма
- Рассмотрен эффект использования подшипников качения в узлах роликов катушечного механизма
- Результаты численного интегрирования, аналитических оценок и теоретических моделей сведены к приведенной форме, характеризующей широкий класс катушечных механизмов

Направления дальнейшего развития тематики:

- Учет углов крена и тангажа как в рамках конструктивной идеи, так и в рамках анализа процессов пуска и работы катушечного механизма
- Исследование прочности конструкции и формирование общего критерия оптимизации механизма, основанного на одновременном требовании к минимизации исследуемых характеристик и прочности катушечного механизма



Спасибо за внимание!