

УДК 681.2

UDC 681.2

**ИНЕРЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ**

**INERTIAL METHOD OF CHAIN
TRANSMISSION QUALITY CONTROL**

Егоров Алексей Васильевич
к.т.н., доцент

Egorov Alexey Vasilievich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Козлов Константин Эдуардович
ассистент

Kozlov Konstantin Eduardovich
assistant

Белогусев Владимир Николаевич
ассистент
*Поволжский государственный технологический
университет, г. Йошкар-Ола, Россия*

Belogusev Vladimir Nikolaevich
assistant
*Volga State Technological University, Yoshkar-Ola,
Russia*

В статье предложен, научно обоснован и экспериментально апробирован метод контроля качества цепных передач. Данный метод позволяет производить оценку потерь на трение в цепной передаче, что напрямую влияет на энергоэффективность цепного привода. Метод может быть использован как на стадии производства цепей, так и в процессе эксплуатации цепного привода, технического обслуживания и ремонта

The article suggests science-based and experimentally tested method of chain transmission quality control. This method enables to estimate the losses due to friction in the transmission chain that directly affect the efficiency of the chain drive. The method can be used both in the chain production stage, as well as in the operation, maintenance, and repair of a chain drive

Ключевые слова: ИНЕРЦИЯ, ИНЕРЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦЕПЕЙ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Keywords: MOMENT OF INERTIA, INERTIAL DIAGNOSTICS, CHAIN QUALITY CONTROL, POWER-EFFICIENCY, CHAIN TRANSMISSIONS, CHAIN DRIVE

В настоящее время цепные передачи применяются во многих технических устройствах и, как правило, работают в условиях переменных нагрузок. При этом нагрузка, действующая на цепь, повышается с увеличением оборотов. Это связано с увеличением механических потерь в зацеплении звеньев цепи и зубьев звездочек. Поэтому при работе цепных передач значительное внимание следует уделить качеству цепей, которое заметно влияет на эффективную мощность и коэффициент полезного действия цепной передачи. Адекватная оценка состояния цепей на стадии производства и эксплуатации является важной, но достаточно проблематичной задачей.

Существующие методы контроля качества, такие как вибрационный, тензометрический, тепловой, визуальный, наряду с достоинствами обладают рядом недостатков: не позволяют достоверно определять потери

на трение в цепных передачах; ограничены в своем применении; имеют длительный процесс обработки полученных данных; требуют высокие финансовые затраты; отсутствует простой алгоритм определения неисправностей в цепных передачах, что ведет к сомнительным выводам относительно оценки их качества; имеют громоздкую и сложную аппаратуры, что затрудняет проведение диагностирования и требует высокой квалификации персонала [9].

Таким образом, можно заключить, что современный уровень развития методов и средств исследования энергетической эффективности цепных передач характеризуется рядом недостатком, которые не позволяют с высокой точностью исследовать качество цепей во время эксплуатации в широком диапазоне скоростных, нагрузочных и переходных режимов работы.

Основываясь на бестормозном методе определения момента инерции вращающихся масс двигателей вращательного действия [4,5,6], была осуществлена реализация инерционного метода оценки мощности механических потерь в электроприводе, включающем асинхронный электрический двигатель и цепную передачу. **Основной целью данной работы** является разработка средств и апробация метода инерционного контроля качества цепных передач. Для достижения данной цели потребовалось решение таких **задач**, как разработка метода инерционного контроля энергетических характеристик цепных передач, разработка аппаратно-программного комплекса для инерционного контроля качества цепных передач и апробация разработанного метода и аппаратно-программного комплекса.

На рисунке 1 представлена схема цепной передачи с электроприводом от асинхронного электродвигателя.

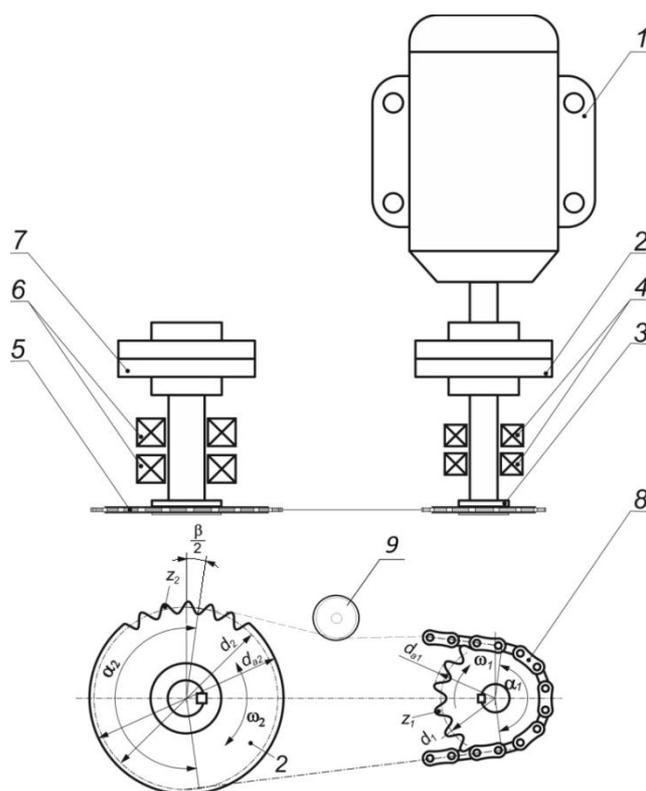


Рис. 1. Схема цепной передачи с электроприводом от асинхронного электродвигателя:
 1 – асинхронный электродвигатель(АЭД); 2 – предохранительная муфта электродвигателя; 3 - быстроходный вал с надетой на него звездочкой; 4 – подшипниковые узлы (ПУ) быстроходного вала; 5 – тихоходный вал с надетой на него звездочкой; 6 – подшипниковые узлы (ПУ) тихоходного вала; 7 - предохранительная муфта тихоходного вала; 8 – цепь; 9 – натяжная звездочка.

Реализуется метод следующим образом. Двигатель 1 запускаем и определяем зависимость углового ускорения выходного вала от угловой скорости, с помощью энкодера. В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$M(w) = J_{ин}(w) \cdot e_1(w) , \quad (1)$$

где $M(w)$ - вращающий момент; $J_{ин}(w)$ - зависимость момента инерции вращающихся масс цепной передачи с электроприводом в сборе, $e_1(w)$ - зависимости углового ускорения выходного вала от w угловой скорости цепной передачи с электроприводом в сборе.

Затем двигатель останавливаем. На вал ведомой звездочки цепной передачи закрепляем тело с эталонным моментом инерции с учетом передаточного отношения J_3 . Двигатель запускаем на холостом ходу, при этом угловая скорость всей системы доводится до номинальной.

Определяем зависимость углового ускорения от угловой скорости. В режиме холостого хода уравнение движения имеет вид:

$$M(\omega) = (J_{ин}(\omega) + J_3) \cdot e_2(\omega) \quad (2)$$

где $J_{ин}(\omega)$ - зависимость момента инерции вращающихся масс цепной передачи с электроприводом в сборе; J_3 - диск с эталонным моментом инерции; $e_2(\omega)$ - зависимости углового ускорения выходного вала от угловой скорости цепной передачи с электроприводом в сборе при наличии тела с эталонным моментом инерции.

Так как в режиме холостого хода вращающий момент рассматриваемой механической системы всегда равен одной и той же величине, можем приравнивать правые части выражения (1) и (2) и определить зависимость момента инерции цепного электропривода с учетом потерь на трение в опорах:

$$J_{ин}(\omega) = J_3 \cdot \frac{e_2(\omega)}{e_1(\omega) - e_2(\omega)} \quad (3)$$

Подставляя значение $J_{ин}(\omega)$ в выражения (1) или (2) определяем кривую эффективного крутящего момента $M(\omega)$ и эффективной мощности:

$$N_{ин}(\omega) = M(\omega)\omega \quad (4)$$

Затем аналогичным образом определяем:

1. динамику приведенного момента инерции системы «ротор асинхронного электродвигателя + подшипниковые узлы электродвигателя + соединительная муфта + подшипниковый узел быстроходного вала + быстроходный вал + ведущая звездочка», $J_{ведущ.зв.+АЭД}(\omega)$;

2. динамику приведенного момента инерции системы «ротор асинхронного электродвигателя + подшипниковые узлы электродвигателя + соединительная муфта», $J_{АЭД}(\omega)$.

На основании полученных данных определяем динамику приведенного к оси вращения быстроходного вала момента инерции вращающихся масс подшипникового узла и потерь в нем:

$$J_{п\bar{в}}(\omega) = J_{ведущ.зв.+АЭД}(\omega) - J_{АЭД}(\omega) - J_{в\bar{б}} - J_{ведущ.зв.}, \quad (5)$$

где $J_{вб}$ – момент инерции быстроходного вала; $J_{ведущ.зв.}$ – момент инерции ведущей звездочки.

Так как подшипниковые узлы быстроходного, тихоходного и натяжного механизма одинаковые, примем моменты инерции этих узлов равными:

$$J_{пбв}(w) = J_{нмв}(w) = J_{внз}(w) = J_{ПУ}(w) \quad (6)$$

На основании полученных данных определяем суммарный приведенный к оси вращения вала асинхронного электродвигателя, подсоединенного к быстроходному валу цепного привода, момент инерции вращающихся масс всего привода согласно общепринятой методике на основе закона сохранения кинетической энергии за исключением приведенного момента инерции потерь в цепном зацеплении:

$$J_{пр}(w) \cdot \frac{w^2}{2} = (J_{ведущ.зв.+АЭД}(w) + J_{у1}) \cdot \frac{w^2}{2} + (J_{мв} + J_{у2}) \cdot \frac{w^2}{2i_1^2} + (J_{ПУ}(w) + J_{внз} + J_{у3}) \cdot \frac{w^2}{2i_2^2} + E_k \quad (7)$$

где $E_k = (L_{ц} - l_{у1} - l_{у2} - l_{у3}) \cdot m_{ц} \frac{\left(w \frac{d_1}{2}\right)^2}{2}$ – сумма кинетических энергий ведущей и ведомой частей цепи, тогда:

$$J_{пр}(w) = J_{ведущ.зв.+АЭД}(w) + J_{у1} + \frac{J_{ПУ}(w) + J_{мв} + J_{у2}}{i_1^2} + \frac{J_{ПУ}(w) + J_{внз} + J_{у3}}{i_2^2} + (L_{ц} - l_{у1} - l_{у2} - l_{у3})m_{ц} \frac{d_1^2}{4} \quad (8)$$

где $J_{тв}$ – момент инерции тихоходного вала с надетой на него звездочкой; $J_{внз}$ – момент инерции вала натяжной звездочки с надетой на него звездочкой; $J_{ц1}$ – момент инерции части цепи, охватывающей ведущую звездочку, относительно оси ее вращения; $J_{ц2}$ – момент инерции части цепи, охватывающей ведомую звездочку, относительно оси ее вращения; $J_{ц3}$ – момент инерции части цепи, охватывающей натяжную звездочку, относительно оси ее вращения; $L_{ц}$ – общая длина цепи; $l_{ц1}$ – длина

окружности обхвата ведущей звездочки по средней линии цепи; $l_{ц2}$ - длина окружности обхвата ведомой звездочки по средней линии цепи; $l_{ц3}$ - длина окружности обхвата натяжной звездочки по средней линии цепи; $m_{ц}$ - удельная масса единицы длины цепи; d_1 - диаметр ведущей звездочки по средней линии цепи; i_1 - передаточное отношение цепной передачи (z_2/z_1); z_1 - число зубьев ведущей звездочки; z_2 - число зубьев ведомой звездочки; i_2 - передаточное отношение (z_3/z_2); z_3 - число зубьев натяжной звездочки.

Зная $J_{пр}(\omega)$ и $J_{цп}(\omega)$, можно определить динамику приведенного к оси вращения ротора асинхронного электродвигателя момента инерции потерь в цепном зацеплении:

$$J_{нцз}(w) = J_{цп}(w) - J_{пр}(w) \quad (9)$$

Зависимость коэффициента полезного действия цепи от угловой скорости рассчитываем:

$$\begin{aligned} h(w) &= \frac{P_{цп}(w) - P_{нцз}(w)}{P_{цп}(w)} = \frac{M_{цп}(w) \cdot w - M_{нцз}(w) \cdot w}{M_{цп}(w) \cdot w} = \\ &= \frac{J_{цп}(w) \cdot e_1 - J_{нцз}(w) \cdot e_1}{J_{цп}(w) \cdot e_1} = \frac{J_{цп}(w) - J_{нцз}(w)}{J_{цп}(w)} = \frac{J_{пр}(w)}{J_{цп}(w)} \end{aligned} \quad (10)$$

где $P_{цп}(\omega)$ – мощность механической системы в сборе на валу ведущей звездочки; $P_{нцз}(\omega)$ – мощность потерь в цепном зацеплении; $M_{нцз}(\omega)$ – крутящий момент потерь в цепном зацеплении.

На основе разработанного инерционного метода определения энергетических характеристик цепных передач в данной работе представлены экспериментальные исследования, позволяющие выявить зависимость момента инерции цепной передачи в широком диапазоне скоростей от неисправностей в цепи.

Для достижения поставленной задачи был создан стенд для испытаний цепного привода (рис. 2). Он позволяет определять момент инерции цепной передачи во время переходных режимов работы цепного привода. Диагностический стенд для испытаний состоит из однофазного асинхронного двигателя 1 мощностью 500 Вт с номинальной частотой

вращения 1450 об/мин. Вал ротора электродвигателя через соединительную муфту соединяется с валом ведущей звездочки 3. В качестве испытуемой цепи была выбрана двухрядная приводная втулочная цепь 2ПВ, которая широко используется в газораспределительных механизмах многих отечественных автомобилей. Стенд снабжен натяжной звездочкой 9, с помощью которой можно регулировать натяг цепи. Для определения углового ускорения цепного привода, вал электродвигателя с помощью переходной муфты соединяется с энкодером 5.

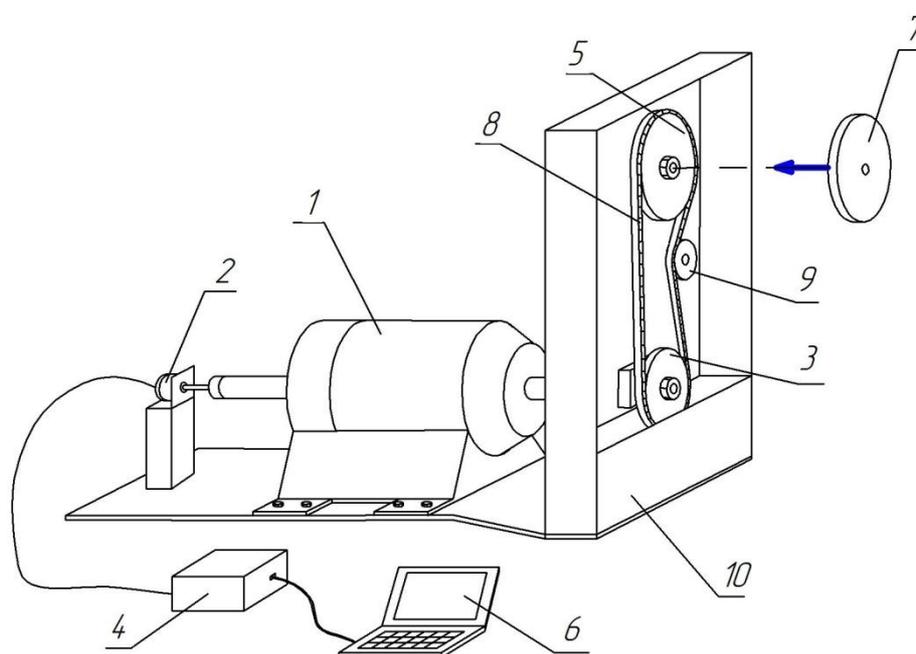


Рис. 2. Стенд для испытаний цепных передач: 1 – АЭД, 500 Вт; 2 – энкодер; 3 – ведущая звездочка; 4 – аналогово-цифровой преобразователь; 5 – ведомая звездочка; 6 – персональный компьютер; 7 – диск с эталонным моментом инерции; 8 – цепь приводная втулочная 2ПВ ($L = 9,525$ мм); 9 – натяжная звездочка; 10 – масляная ванна.

Для решения уравнений, описывающих динамику вращающихся масс, и для определения момента инерции элементов системы, используем диски с эталонными моментами инерции $0,00110 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и $0,00367 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, выполненные из стали (Ст.3 ГОСТ 1050-88).

Для проверки достоверности получаемых данных с АПК проводим измерения с добавочным (паразитным) эталонным моментом инерции ($0,00110 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$). С помощью АПК определяем момент инерции цепного привода в сборе и цепного привода в сборе с паразитным моментом

инерции и вычисляем средние значения моментов инерции вращающихся масс систем (рис. 3 и 4).

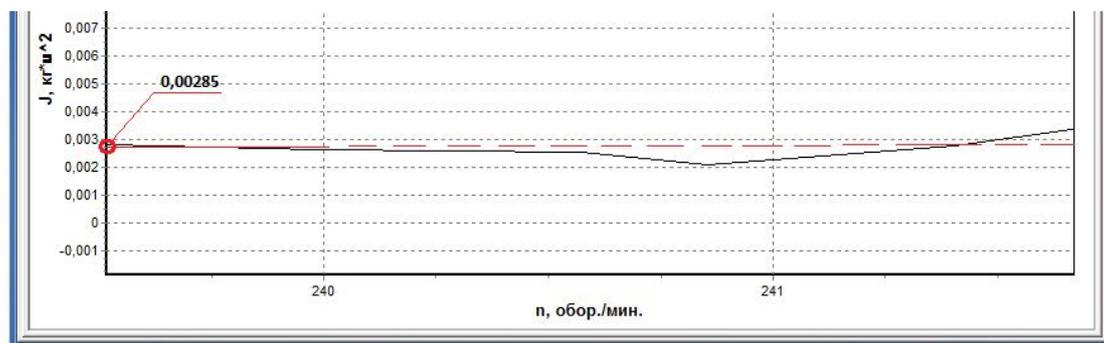


Рис. 3. График зависимости момента инерции всей исследуемой системы

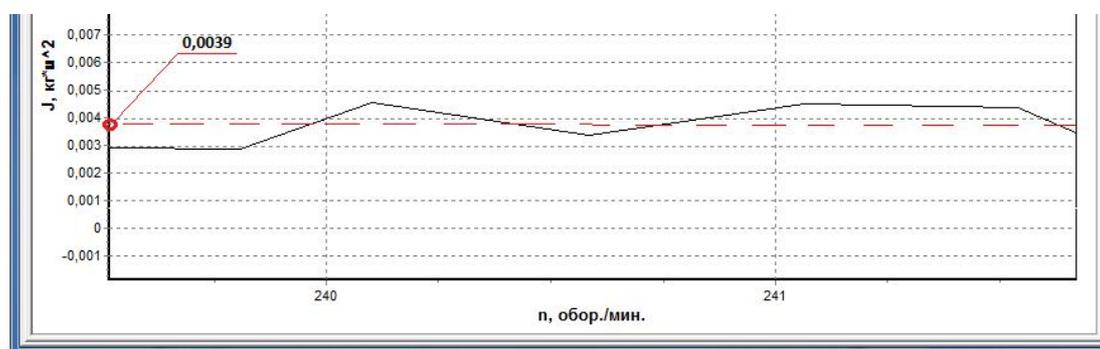


Рис. 4. График зависимости момента инерции всей исследуемой системы с добавочным малым диском с известным значением момента инерции

В таблице 1 представлены средние значения 10 выборок из 20 измерений значений добавочного момента инерции эталонного тела с помощью АПК.

Таблица 1. Средние значения момента инерции с малым диском

Число оборотов вала электродвигателя, об/мин	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400
Среднее значение момента инерции малого диска, кг·м ²	0,00107	0,00107	0,00109	0,00110	0,00111	0,00110	0,00110

Таким образом, получаем относительную погрешность измерений момента инерции эталонного диска до 2,7 %.

Согласно выражению (8) для определения общего приведенного к оси вращения ротора асинхронного электродвигателя момента инерции вращающихся масс цепной передачи с электроприводом в сборе $J_{пр}(\omega)$

были проведены измерения и расчеты моментов инерции отдельных элементов стенда.

Моменты инерции звездочек и валов измеряем с помощью метода крутильных колебаний согласно ГОСТ 11828-86 и определяем по формуле:

$$J = J_n \left(\frac{T}{T_n} \right)^2, \quad (11)$$

где $T_n = 8,15$ — период колебаний исследуемой вращающейся части с эталоном, с.

В качестве эталонного тела в методе крутильных колебаний используем малый диск с эталонным моментом инерции ($0,00110 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

В таблице 2 приведены полученные расчетно-экспериментальным и расчетным путем значения моментов инерции элементов системы с учетом передаточных отношений.

Таблица 2. Значения моментов инерции элементов механической системы

Наименование элемента	Период колебаний, с	Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ (с учетом передаточного отношения i : $i_1 = 1,73$; $i_2 = 0,55$)
Ведущая звездочка	5,32	0,00047
Ведомая звездочка	13,10	0,00095
Звездочка натяжного устройства	2,01	0,00022
Вал натяжного механизма	1,48	0,00012
Тихоходный вал	4,03	0,00009
Быстроходный вал	4,02	0,00009
Часть цепи, охватывающая ведущую звездочку		0,00008
Часть цепи, охватывающая ведомую звездочку		0,00011

Динамику приведенного момента инерции системы «ротор асинхронного электродвигателя + подшипниковые узлы электродвигателя + соединительная муфта + подшипниковый узел быстроходного вала + быстроходный вал + ведущая звездочка» $J_{\text{ведущ.зв.+АЭД}}(\omega)$ получаем с помощью разработанного метода. Средние значения 10 выборок из 20 измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения момента инерции системы «ротор асинхронного электродвигателя + подшипниковые узлы электродвигателя + соединительная муфта + подшипниковый узел быстроходного вала + быстроходный вал + ведущая звездочка»

Число оборотов вала электродвигателя, об/мин	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400
Среднее значение момента инерции, кг·м ²	0,001060	0,001048	0,001055	0,001059	0,001062	0,001064	0,001062

В быстроходной, тихоходной частях и в натяжном механизме установлены одинаковые подшипники, следовательно, суммы приведенных моментов инерции вращающихся элементов подшипникового узла и потерь в нем можно условно принять равными согласно выражениям (6) и (7).

В таблице 4 приведены полученные расчетно-экспериментальным путем средние значения момента инерции вращающихся элементов подшипникового узла и потерь в нем.

Таблица 4. Средние значения момента инерции вращающихся элементов подшипникового узла и потерь в нем

Число оборотов вала электродвигателя, об/мин	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400
Среднее значение момента инерции, кг·м ²	0,000028	0,000027	0,000028	0,000029	0,000031	0,000030	0,000030

Таким образом, расчетно-экспериментальным путем согласно выражению (9) с учетом погрешностей определяем средние значения 10 выборок из 20 измерений момента инерции потерь в зацеплении цепной передачи, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5. Средние значения момента инерции потерь в исправной цепи

Число оборотов вала электродвигателя	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400
Среднее значение момента инерции потерь в исправной цепи, кг·м ²	0,000145	0,000128	0,000141	0,000157	0,000147	0,000166	0,000170

Момент инерции потерь в исправной цепи при соответствующем качестве смазочного материала в процентном соотношении составил 4,4 – 5,9 % от измеренного момента инерции механической системы в сборе.

Таким образом, коэффициент полезного действия цепи при номинальной скорости вращения электродвигателя, исправном состоянии цепи и соответствующем качестве смазочного материала и способе смазки составляет 93,1 – 95,6 % (рис. 7), что соответствует данным о цепных передачах, представленных в [10].

Далее аналогичным образом исследуем различные виды неисправностей цепей, и определяем их влияние на момент инерции потерь в цепной передаче. Наиболее частыми видами неисправностей цепей являются увеличение шага цепи, разрушение роликов и втулок, коррозия, нарушение соосности ведущего и ведомого валов, инородный материал между цепью и зубьями цепного колеса [3]. Поэтому для испытаний были искусственно созданы неисправности цепей и взяты цепи с известными видами неисправностей.

На рисунке 5 приведены зависимости моментов инерции цепной передачи, имеющие различные дефекты в цепях. Для наглядной демонстрации различий в зависимостях момента инерции от частоты вращения ведущей звездочки при разных видах неисправностей цепи выбираем соответствующий масштаб графика.

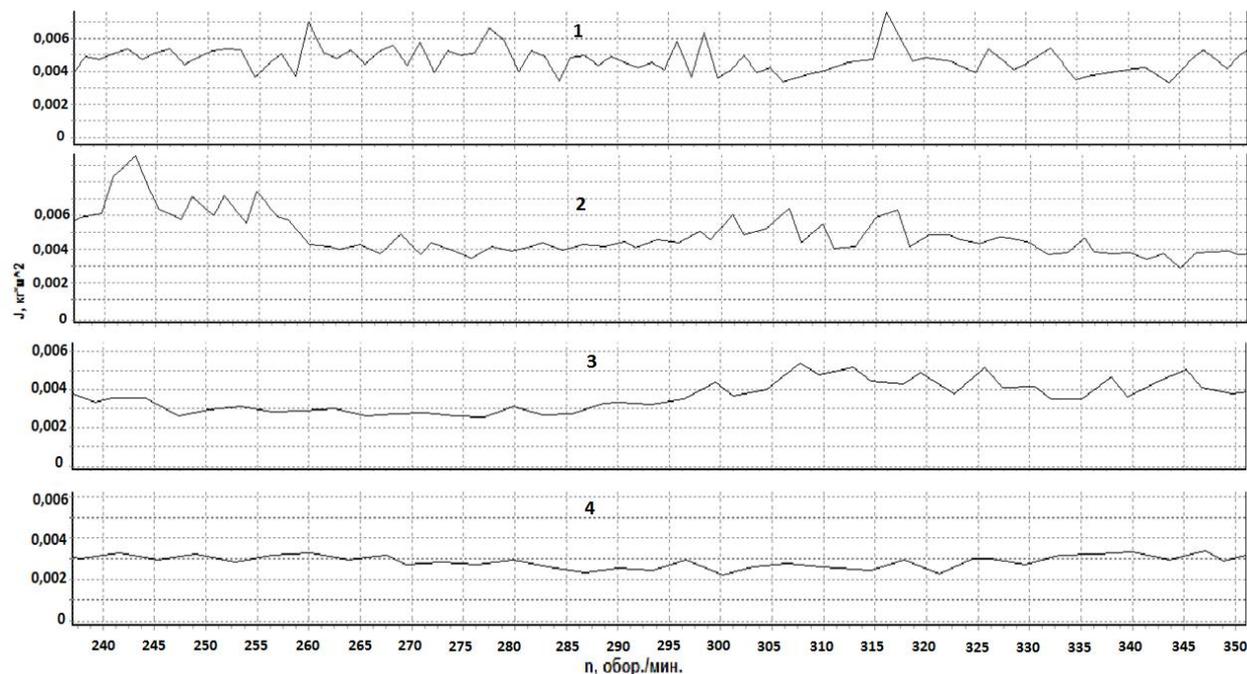


Рис. 5. Графики зависимостей момента инерции цепной передачи от частоты вращения вала АЭД: 1 – цепь со следами коррозии на пластинах и втулках; 2 – цепь, работающая в условиях несоосности ведущего и ведомого валов; 3 – цепь с увеличенным шагом цепи; 4 – исправная цепь

На рисунке 5 кривые момента инерции носят различный характер при разных видах дефектов.

Графики зависимостей средних значений моментов инерции цепного электропривода при различных видах неисправностей на всем диапазоне скоростей приведены на рисунке 6.

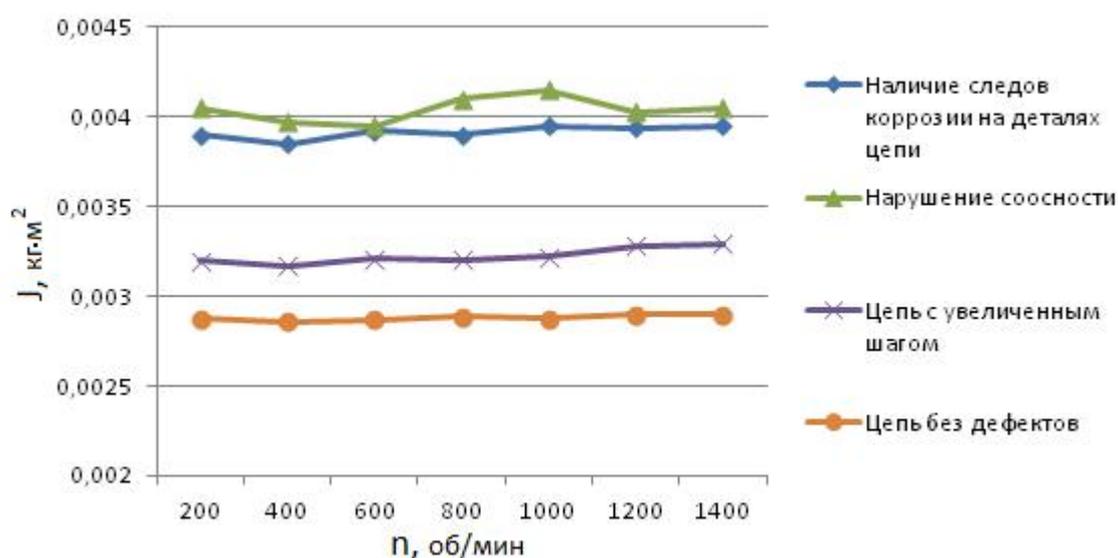


Рис. 6. График зависимостей усредненных значений моментов инерции цепного электропривода при различных видах неисправностей на всем диапазоне скоростей

Как видно из рисунков 5 и 6, общий момент инерции механической системы при наличии неисправностей цепи увеличивается на всем диапазоне скоростей, а, следовательно, наблюдаем снижение коэффициента полезного действия цепной передачи (рис. 7), при этом в зависимости от вида неисправностей кривые моментов инерции носят различный характер. На рисунке 6 наблюдаем значительный момент инерции потерь в цепном зацеплении при наличии следов коррозии на деталях цепи и несоосности ведущего и ведомого валов.

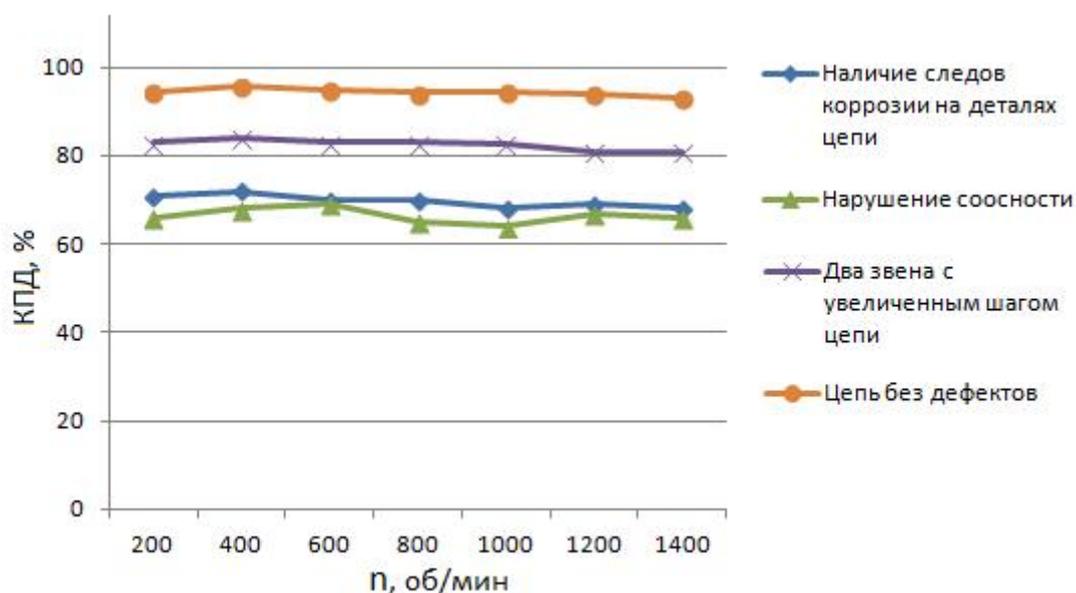


Рис.7. График зависимостей усредненных значений коэффициентов полезного действия цепи при различных видах неисправностей на всем диапазоне скоростей

На основании полученных данных можно заключить, что применение метода инерционного контроля энергетических характеристик цепных передач отражает наглядную картину изменения момента инерции механической системы и позволяет судить о состоянии цепей, а, следовательно, их влиянии на коэффициент полезного действия цепных передач.

Таким образом, на уровне отдела технического контроля (ОТК) предприятия-изготовителя цепей, определив динамику значений момента

инерции цепных передач и допуск на изменение этого показателя, имеем возможность оперативного реагирования на ухудшение показателей цепей, которые значительно влияют на энергоэффективность цепного привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др. М.: Машиностроение. 1995, 488 с.
2. Измерения, контроль, испытания и диагностика. / Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. М.: Машиностроение. В 40 томах. Том III – 7. 2005, 484 с.
3. Воробьев Н.В. Цепные передачи, Изд. 4-е, «Машиностроение». 1968, 252 с.
4. Егоров А. В., Белогусев В.Н. Определение коэффициента полезного действия асинхронных электрических машин с помощью эталонного момента инерции // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Том 12 (33) №1(2). С 349-352.
5. Егоров А. В., Белогусев В.Н. Бестормозное определение эффективных характеристик электрических двигателей вращательного действия // Контроль. Диагностика. 2010. №7. С 66-72.
6. Егоров А. В., Белогусев В.Н. Инерционный метод оценки мощности механических потерь в асинхронном зубчатом электроприводе // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. №6. С 34-37.
7. Поздеев А.Г., Кузнецова Ю.А. Моделирование систем: Учебное пособие. Сыктывкар. СЛИ. 2010. 308 с.
8. Родионов, П.М. Основы научных исследований: Учебное пособие. Л., ЛТА, 1989. 100 с.
9. Егоров А.В., Козлов К.Э. Способы определения неисправностей ременных и цепных передач. Инерционный метод оценки мощности механических потерь в ременных и цепных передачах // Материалы IX международной заочной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике» - Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012 – с. 51
10. Готовцев А.А., Котенок И.П. Проектирование цепных передач. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. 336 с.
11. Родионов, П.М. Основы научных исследований: Учебное пособие Л.: ЛТА, 1989. 100 с.
12. Поздеев, А.Г. Кузнецова Ю.А. Моделирование систем: Учебное пособие. Сыктывкар., СЛИ, 2010. 308 с.

REFERENCES

1. Nondestructive testing and diagnostics: a handbook / Klyuev V.V., Sosnin F.R., Filinov V.N., etc. Mashinostroyeniye. 1995, 488 p.
2. Measurement, inspection, testing and diagnosis. / Klyuev V.V., Sosnin F.R., Filinov V.N., Mashinostroyeniye. In 40 volumes. Volume III - 7. 2005, 484 p.
3. Vorobyev, N.V. Chain drives, Ed. 4th, "Engineering". 1968 252.
4. V. Egorov, V.N. Belogusev Efficiency test asynchronous electric machines with reference moment of inertia / / Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2010. Volume 12 (33) № 1 (2). С 349-352.

5. V. Egorov, V.N. Belogusev Non brake effective characteristics of electric motors rotational action // Control. Diagnosis. 2010. Number 7. С 66-72.
6. V. Egorov, V.N. Belogusev Inertial power estimation method of mechanical losses in asynchronous gear actuator // Repair, restoration, modernization. , 2011. Number 6. С 34-37.
7. Pozdeev A.G., Kuznetsov Y.A. Simulation systems: the manual. Syktyvkar. SSI. 2010. 308.
8. Rodionov, P.M. Basics of research: the manual. L., LTA, 1989. 100 s.
9. Egorov A.V., Kozlov K.E. Methods for determining the fault belt and chain drives. The inertial method of assessing the mechanical power losses of belt and chain transmissions / / Proceedings of the IX International extramural scientific and practical conference "Engineering - From Theory to Practice" - Novosibirsk.: "Siberian Association of Consultants", 2012 - с. 51
10. Gotovtsev A.A., I.P. Kotenok Design of chain drives. Handbook. Mashinostroyeniye, 1982. 336 p.
11. Rodionov, P.M. Basic scientific research: Textbook L.: LTA, 1989. 100 s.
12. Pozdeev, A.G., Yuri Kuznetsov Simulation systems: the manual. Syktyvkar., SSI, 2010. 308.