

**Министерство высшего образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал)**

ДЕТАЛИ МАШИН — ПЕРЕДАЧИ РЕДУКТОРНЫЕ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ
КОМПЛЕКС**

**Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных работ
студентами очной и заочной форм обучения**

**Набережные Челны
2024**

УДК 531

Печатается по решению учебно-методической комиссии
автомобильного отделения Набережночелнинского института
(филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.
Протокол № 6 от 14.12.2023 г.

Рецензент: кандидат технических наук, доцент Павленко А.П.

Галимянов И.Д., Талипова И.П., Гимадеев М.М. Детали машин — передачи редукторные. Автоматизированный лабораторный комплекс: Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ студентами очной и заочной форм обучения. – Набережные Челны: ИПЦ НЧИ К(П)ФУ, 2024. – 37 с.

Оглавление

Описание автоматизированного лабораторного комплекса.....	4
Указание мер безопасности	7
Лабораторная работа №1 «Исследование влияния режимов работы привода на КПД червячного редуктора».....	8
Лабораторная Работа № 2 «Исследование влияния режимов работы привода на КПД конического редуктора».....	18
Лабораторная работа № 3 «Исследование влияния режимов работы привода на КПД цилиндрического редуктора»	28

ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Лабораторная установка и ее кинематическая схема представлена на рис. 1. Установка содержит электродвигатель 1, и три исследуемых передачи: червячный редуктор 2, конический редуктор 3, цилиндрический двухступенчатый соосный мультипликатор 4, соединенные между собой и с электродвигателем посредством торсионных валов 8, 10, 12, 14 и ременной передачи 5, выступающей в качестве нагружающего устройства в замкнутый контур. Все узлы привода закреплены на раме с декоративной панелью 20. Управление двигателем осуществляется кнопочной станцией (выключатель питания установки 17, кнопка пуска электродвигателя 18 и кнопка останова электродвигателя 19), расположенной с правой стороны плиты.

От электродвигателя 1 вращение подается через торсионный вал 8 на ведущий вал червячного редуктора 2 с передаточным отношением $i_1 = 7$. Червячный редуктор 2 снижает частоту вращения от вала электродвигателя 1 в i_1 раз и через торсионный вал 10 подает вращение на ведущий вал конического редуктора 3. Конический редуктор 3 имеет передаточное отношение $i_2 = 2$, т. о. снижает частоту вращения от ведущего вала к ведомому в i_2 раз. Далее движение подается через торсионный вал 12 на ведущий вал цилиндрического двухступенчатого соосного мультипликатора 4 с передаточным отношением $i_3 = 1/10,5$, увеличивая частоту вращения от ведущего вала к ведомому в $1/i_3$ раз. От ведомого вала цилиндрического мультипликатора 4 вращение подается через торсионный вал 14 на больший шкив ременной передачи 5, имеющей передаточное отношение $i_4 = 1/1,55$. Вращение снимается с меньшего шкива ременной передачи 5 и замыкается на валу электродвигателя 1.

Общее передаточное отношение исследуемых передач 2,3 и 4 $i_{\text{общ}} = 1,33$, передаточное отношение ременной передачи 5 $i_4 = 1/1,55$, т. о. ременная передача работает со скольжением от 0 до 15 %. Увеличение натяжения ремня увеличивает вращающий момент, передаваемый ременной передачей. Натяжение ремня изменяется при помощи натяжного устройства 6.

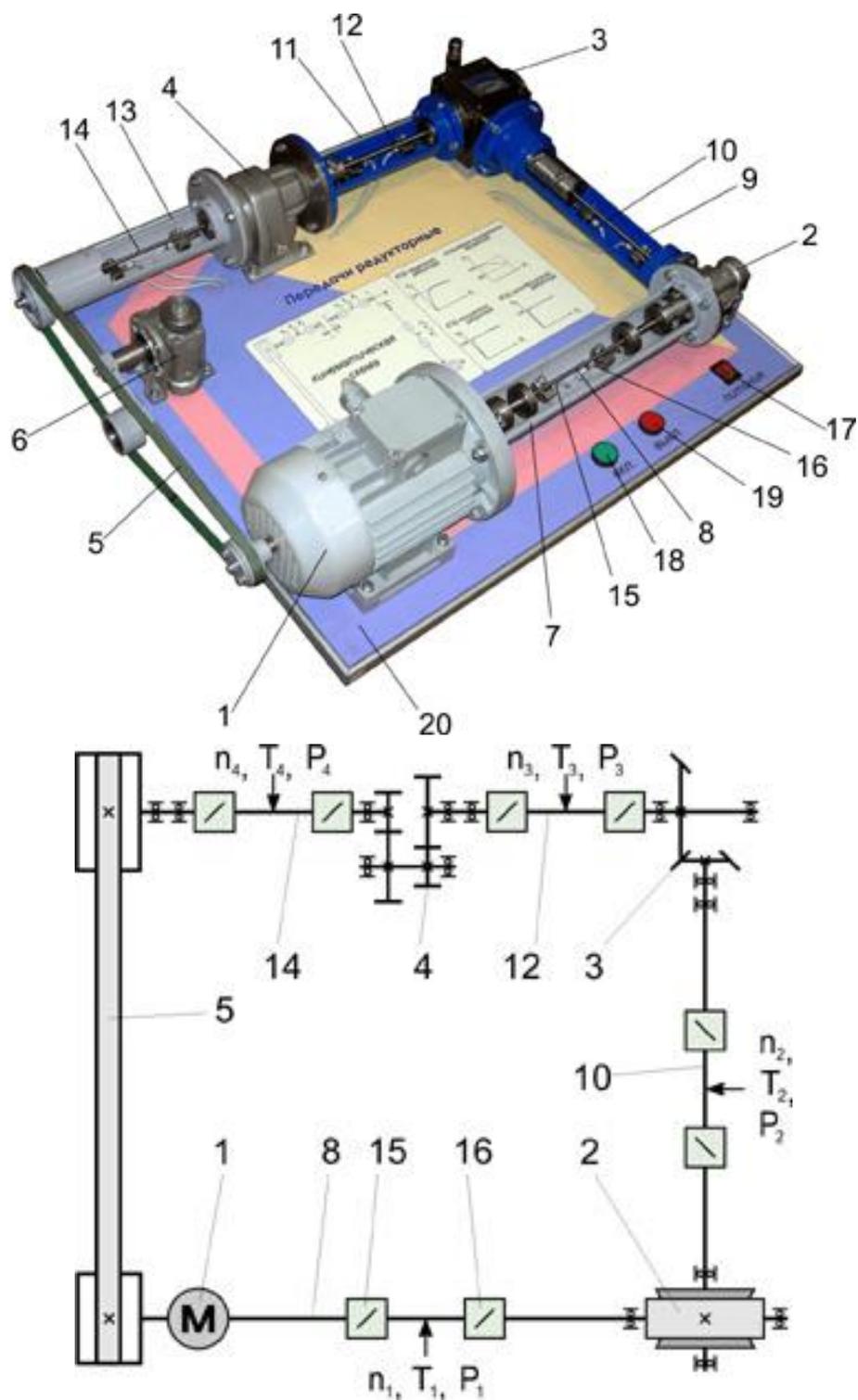


Рис. 1. Автоматизированный лабораторный комплекс «Детали машин — передачи редукторные»

Вращающий момент измеряется при помощи датчиков момента 7, 9, 11 и 13. Вращающий момент на входном валу червячного редуктора 2 измеряется датчиком момента 7, на выходном валу — датчиком момента 9. Вращающий момент на входном валу конического редуктора 3 измеряется датчиком момента 9, на выходном валу — датчиком момента 11. Вращающий момент

на входном валу цилиндрического двухступенчатого соосного мультипликатора 4 измеряется датчиком момента 11, на выходном валу — датчиком момента 13.

Датчик момента 7 представляет собой торсион определенной жесткости, угол закручивания торсиона определяется двумя индуктивными датчиками 15 и 16. Датчик 16 также определяет частоту вращения торсиона. Данные, полученные с датчиков, поступают на контроллер стенда, а затем в ЭВМ для последующей обработки.

Эксперимент целесообразно проводить на прогретой установке, так как при холодном масле существенно возрастают потери на размешивание и разбрызгивание смазки, что искажает результаты эксперимента.

Лабораторные работы выполняют с применением компьютера в диалоговом режиме с использованием программы «Исследование КПД редукторов» (рис. 2).

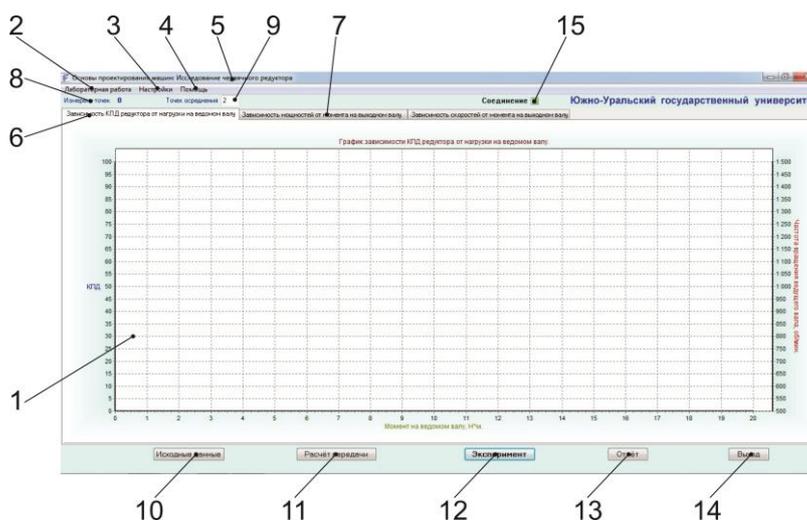


Рис. 2. Рабочее окно программы «Исследование КПД редукторов»

1 — рабочее поле программы; 2 — меню выбора лабораторной работы; 3 — меню настройки; 4 — меню помощи; 5 — название текущей лабораторной работы; 6 — вкладка «График зависимости КПД от нагрузки на ведомом валу»; 7 — вкладка «График зависимости мощностей от нагрузки на ведомом валу»; 8 — количество измеренных точек; 9 — поле фильтра осреднения полученных результатов; 10 — кнопка «Исходные данные исследуемой передачи»; 11 — кнопка «Расчет передачи»; 12 — кнопка «Начало эксперимента»; 13 — кнопка «Вывод отчета по лабораторной работе»; 14 — кнопка «Выход из программы»; 15 – индикатор состояния подключения ЭВМ к стенду.

УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

Перед началом работы, обучаемые должны быть ознакомлены с принципом действия стенда преподавателем.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- включать стенд и учебную аппаратуру без преподавателя или учебного мастера;
- работать с поврежденным заземлением. Перед проведением лабораторных работ обслуживающий персонал должен проверить наличие заземления оборудования и приборов;
- эксплуатировать стенд при неисправной электрической проводке;
- эксплуатировать стенд при ненадежном контакте в электрической розетке;
- при работе располагать посторонние предметы рядом с подвижными элементами стенда.

Лабораторная работа №1 «Исследование влияния режимов работы привода на КПД червячного редуктора»

Цель работы

Экспериментально исследовать закономерность изменения коэффициента полезного действия (КПД) редуктора при разных режимах работы привода.

В результате выполнения работы студент:

Должен знать:

- основные составляющие потерь мощности в редукторе, их зависимость от передаваемой нагрузки и частот вращения валов;
- устройство лабораторной установки и методику проведения исследований;

Должен уметь:

- экспериментально определять и теоретически рассчитывать вращающие моменты на валах редуктора и по ним определять КПД на различных режимах нагружения;
- обоснованно выбирать режимы эксплуатации редуктора, обеспечивающие минимальные потери, как в приводе, так и в редукторе.

Анализ потерь мощности в редукторе

Коэффициент полезного действия (КПД) редуктора есть отношение полезной мощности к затраченной:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 \cdot \omega_2}{T_1 \cdot \omega_1} = \frac{T_2 \cdot n_2}{T_1 \cdot n_1} = \frac{T_2}{T_1 \cdot i},$$

где P_1, P_2 — мощности на ведущем (затраченная) и на ведомом (полезная) валах редуктора, Вт;

T_1, T_2 — вращающие моменты на ведущем и ведомом валах редуктора, Н·м;

ω_1, ω_2 — угловые скорости вращения ведущего и ведомого валов редуктора, рад/с;

n_1, n_2 — частоты вращения ведущего и ведомого валов редуктора, мин⁻¹;

i — передаточное отношение исследуемого редуктора.

В свою очередь мощность потерь в редукторе, Вт:

$$P_{\psi} = P_1 - P_2 = P_1 \cdot (1 - \eta) = P_1 \cdot \psi,$$

где ψ — коэффициент относительных потерь в редукторе,

$$\psi = 1 - \eta = \psi_3 + \psi_{\Pi} + \psi_{\text{пм}} + \psi_{\text{в}};$$

ψ_3 — коэффициент относительных потерь в зацеплении;

ψ_{Π} — коэффициент относительных потерь в подшипниках;

$\psi_{\text{пм}}$ — коэффициент относительных потерь на перемешивание масла;

$\psi_{\text{в}}$ — коэффициент относительных потерь на привод вентилятора у редукторов с искусственным воздушным охлаждением.

Потери в зацеплении являются следствием чрезвычайно сложного для исследования процесса взаимодействия контактирующих поверхностей зубьев. В общем случае силы трения между зубьями зависят от шероховатости их рабочих поверхностей, режима и вида смазки, соотношения скоростей качения и скольжения в контакте и величины передаваемой полезной нагрузки.

В червячной передаче потери в зацеплении составляют основную часть потерь мощности в связи с наличием относительного скольжения витков червяка по зубьям червячного колеса.

В режиме полужидкостной смазки силы трения увеличиваются при уменьшении вязкости масла и скорости в зацеплении. При высоких скоростях за счет повышения несущей способности масляного клина между зубьями вступают в силу зависимости, характерные для гидродинамического режима смазки.

Потери на трение в зацеплении обычно принимают пропорциональными полезной нагрузке и относят к так называемым нагрузочным потерям.

Валы современных редукторов обычно устанавливают на подшипниках качения, для которых характерны малые потери на трение:

$$\psi_{\Pi} = 0,005 \dots 0,010.$$

Потери на перемешивание масла растут с увеличением окружной скорости, вязкости масла, ширины зубчатых колес и глубины их погружения в масляную ванну.

Коэффициент относительных потерь на привод вентилятора $\psi_{\text{в}}$ существенно зависит от частоты вращения валов.

Раздельное измерение составляющих потерь мощности связано с большими трудностями. Поэтому обычно опытным путем определяют суммарные потери мощности, которые характеризуют общий КПД редуктора.

Средние значения КПД червячных передач с жидкой смазкой при разных числах заходов червяка z_1 представлены в табл. 1.

Таблица 1- КПД червячных передач с жидкой смазкой

Число заходов червяка Z	1	2	4
Передаточное число i	32...63	16...32	7...16
КПД η	0,65...0,80	0,75...0,85	0,80...0,90

При передаче неполной мощности КПД значительно ниже вследствие влияния постоянных потерь, т. е. потерь, не зависящих от передаваемой мощности.

Последовательность выполнения лабораторной работы в диалоговом режиме с элементами автоматизированной системы научных исследований (АСНИ)

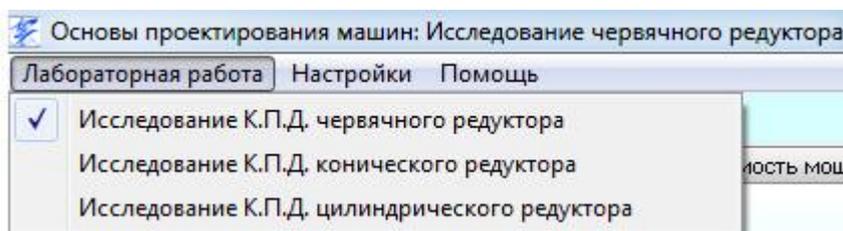


Рис. 3. Выбор лабораторной работы

1. Проверить подключение установки к ПЭВМ, включить питание установки и ПЭВМ.

2. Выбрать лабораторную работу (рис. 3).

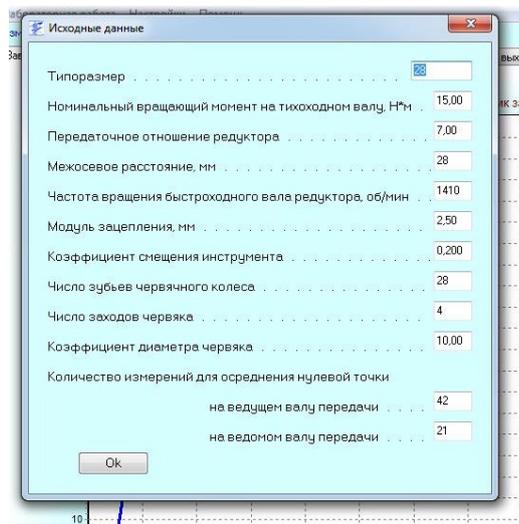


Рис. 4. Окно «Исходные данные»

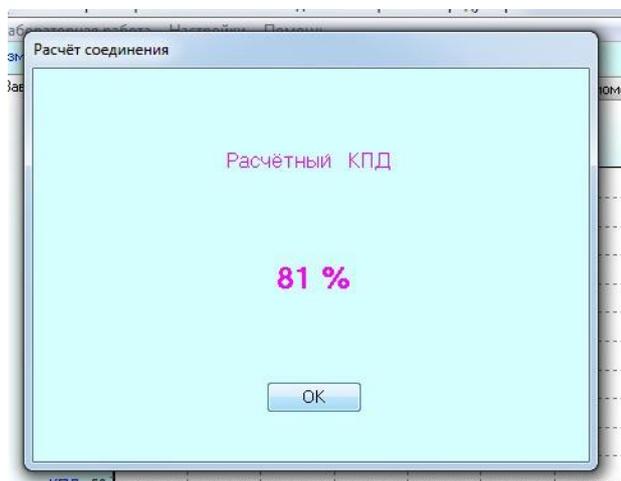


Рис. 5. Расчетный КПД редуктора

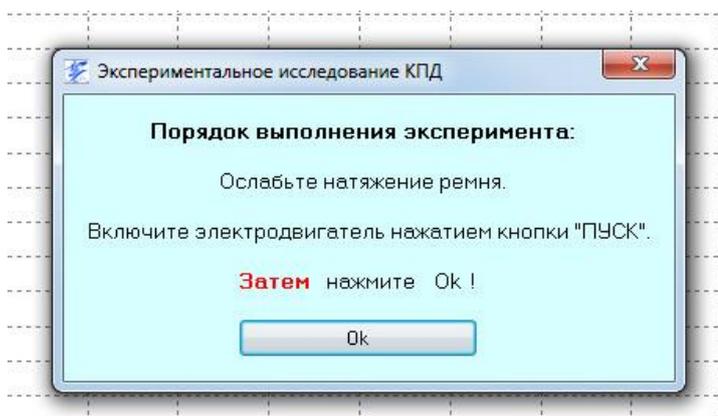


Рис. 6. Окно предварительного этапа эксперимента

3. Нажатием кнопки «Исходные данные» вывести на экран параметры исследуемой передачи (рис. 4).

4. Нажатием кнопки «Расчетный КПД» вывести на экран значение расчетного КПД исследуемой передачи (рис. 5).

5. Проведение эксперимента.

5.1. Нажатием кнопки «Эксперимент» вывести на экран окно предварительного этапа эксперимента (рис. 6).

5.2. Ослабить натяжение ремня, растормозить муфту, открутив штурвал до свободного состояния (не откручивать полностью!) и запустить электродвигатель нажатием кнопки «Вкл.» на панели лабораторной установки.

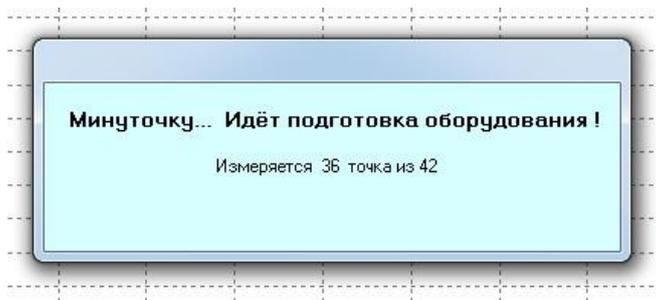


Рис. 7. Окно подготовки оборудования

Важно!

В процессе подготовки оборудования не изменять натяжение ремня.

5.4. После завершения подготовки оборудования на экране начинает отображаться график. Медленно натягивая ремень при помощи натяжного устройства увеличивать нагрузку на редуктор, следя за количеством снимаемых точек и максимальным вращающим моментом на ведомом валу (нижняя строка окна программы рис. 8).

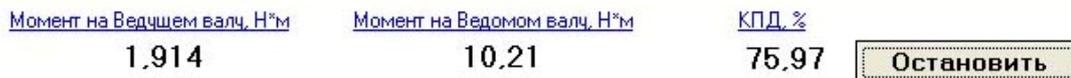


Рис. 8. Проведение эксперимента

5.5. Эксперимент следует завершить нажатием кнопки «Остановить» когда максимальный вращающий момент на ведомом валу составит 20...21 Н·м, при этом количество точек измерения должно быть не менее 150 (чем больше количество точек, тем выше точность эксперимента);

5.6. Ослабить натяжение ремня. Остановить электродвигатель нажатием кнопки «Выкл.» на панели лабораторной установки.

5.7. Выключить установку.

6. Обработка результатов.

Вкладка «График зависимости КПД от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость КПД исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу.

Вкладка «График зависимости мощностей от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость мощностей на ведущем и ведомом валах исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу (рис. 9).

Для обработки полученных результатов вводим значение глубины фильтра (осреднение) в поле осреднения результатов (верхний правый угол окна программы). Значение глубины фильтра должно быть кратным 7 и зависит от количества точек измерения.

При количестве точек измерения больше 100 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 14, 21. При количестве точек измерения больше 150 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 21, 28. При количестве точек измерения больше 200 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 28, 35. Осреднение осуществляется на обоих графиках одновременно (рис. 10).

7. Оформление отчета по лабораторной работе.

После выбора оптимальной глубины фильтра и применения его к полученным результатам нажать кнопку «Отчет». При нажатии кнопки «Отчет» (рис. 2) программа открывает MS WORD® и вставляет в него отчет по проведенной лабораторной работе (рис. 11) (рекомендуется использовать MS Office 2000® или MS Office XP®), при этом если графики были обработаны при помощи фильтра осреднения результатов, то в отчет выводятся обработанные графики. Если на ПЭВМ не установлен MS Office®, программа использует WordPad входящей в стандартную поставку MS Windows®

В отчете необходимо ввести фамилии студентов выполнявших лабораторную работу, номер группы, факультет и фамилию преподавателя. Отчет сохранить в любую удобную папку средствами MS WORD® (WordPad).

8. При необходимости повторного проведения лабораторной работы необходимо сделать сброс всех полученных данных, выбрав требуемую строчку в меню «настройка» (вкладка 3 рис. 2), либо нажав комбинацию клавиш <Ctrl+Delete>.

ВНИМАНИЕ!

Выбор другой лабораторной работы сбрасывает все полученные данные, поэтому перед переходом к другой лабораторной работе необходимо убедиться, что результаты сохранены в отчет.

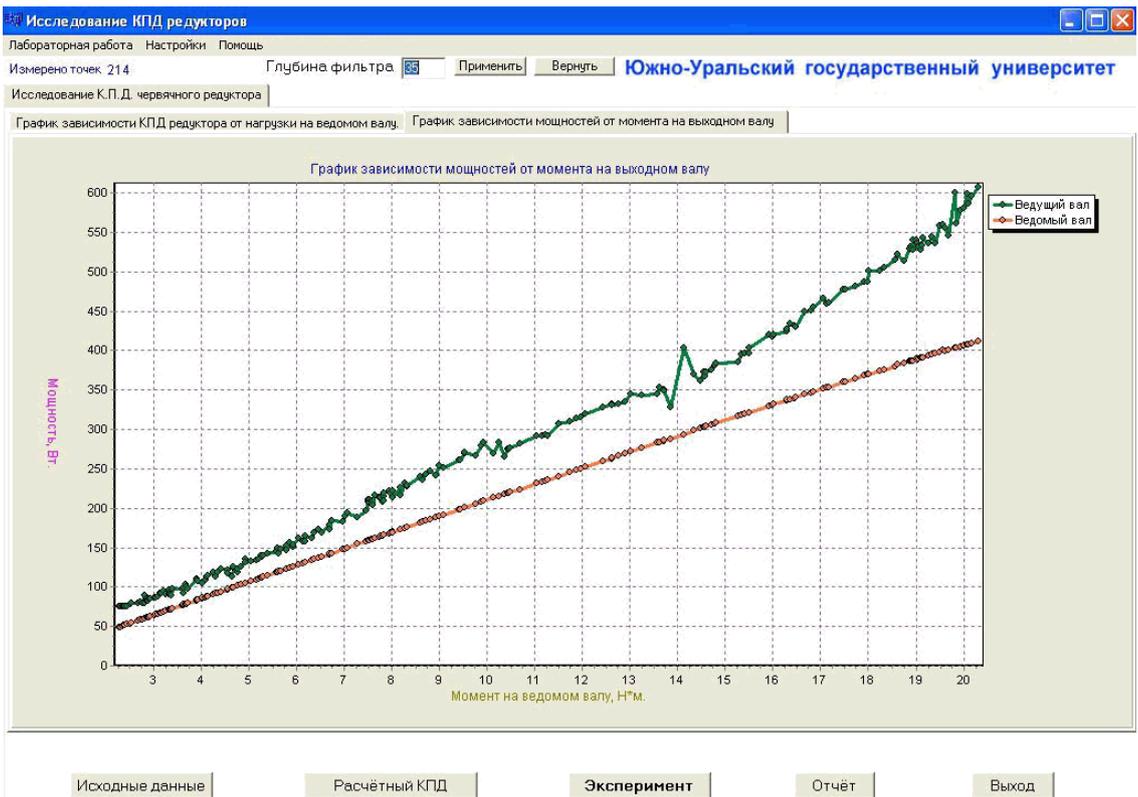
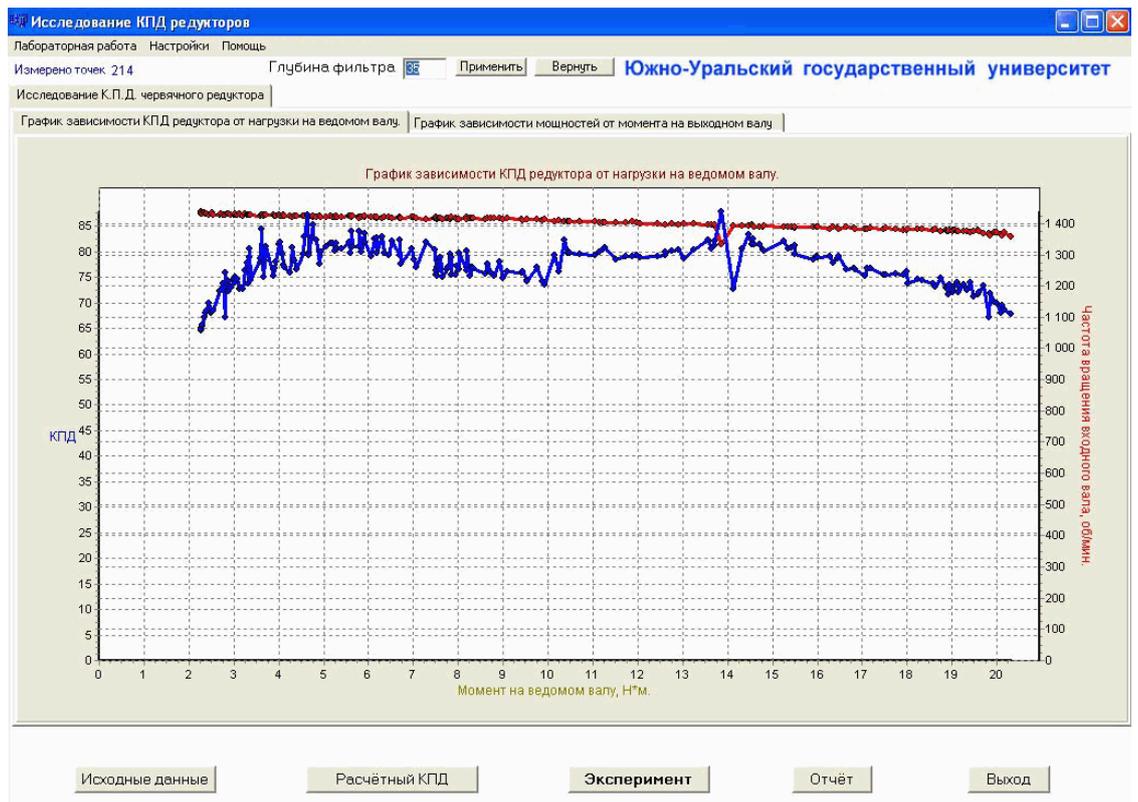


Рис. 9. Результаты эксперимента

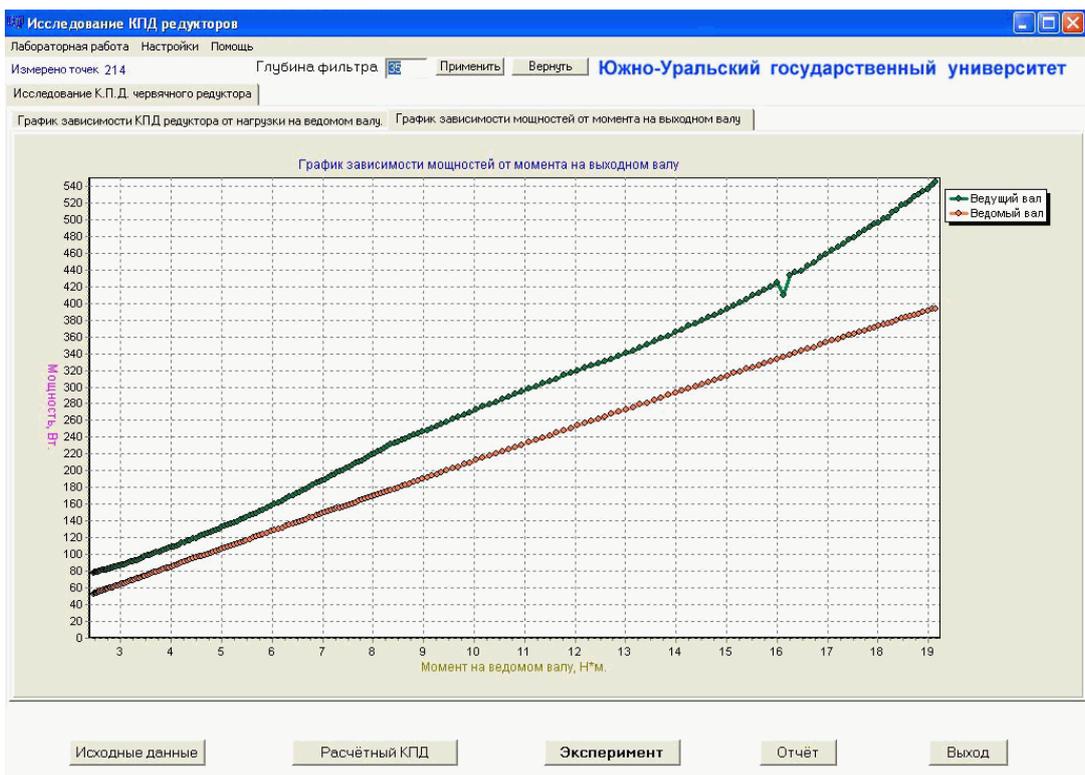
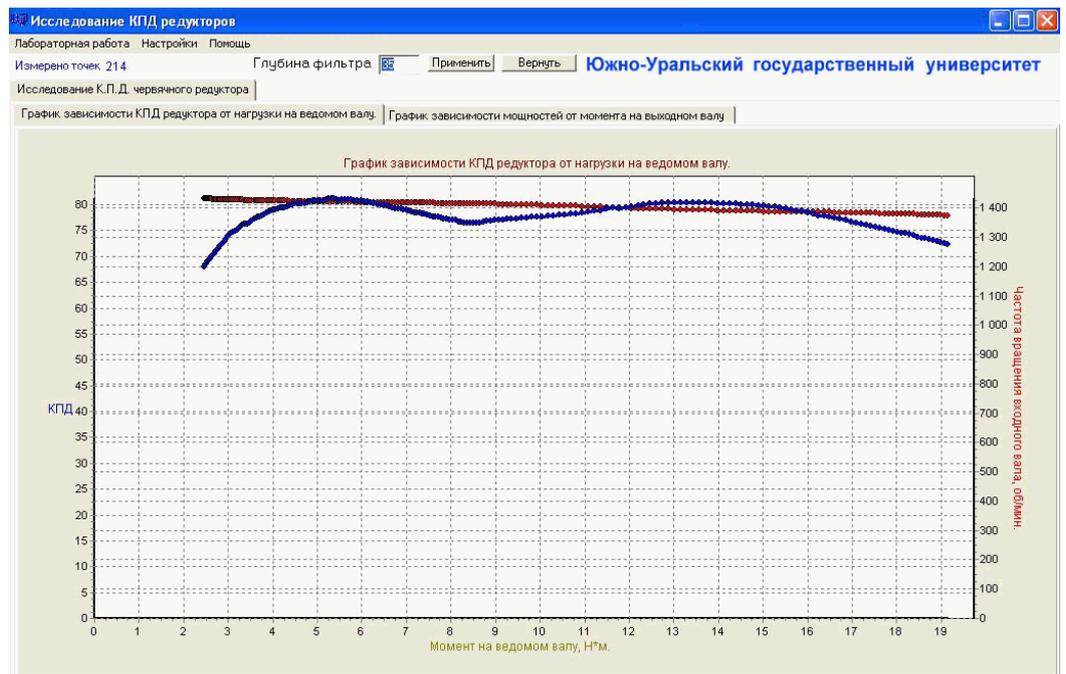


Рис. 10. Результаты эксперимента с применением фильтра

Студенты:

Группа:

Факультет:

Преподаватель:

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:

"Исследование КПД червячного редуктора"

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Типоразмер.....	28
Номинальный вращающий момент на тихоходном валу, Н*м .	15
Передаточное отношение редуктора.....	7
Межосевое расстояние, мм	28
Частота вращения быстроходного вала редуктора, об/мин..	1 410
Модуль зацепления, мм	2,5
Коэффициент смещения инструмента	0,2
Число зубьев червячного колеса.....	28
Число заходов червяка	4
Коэффициент диаметра червяка	10
Расчетный КПД	81 %

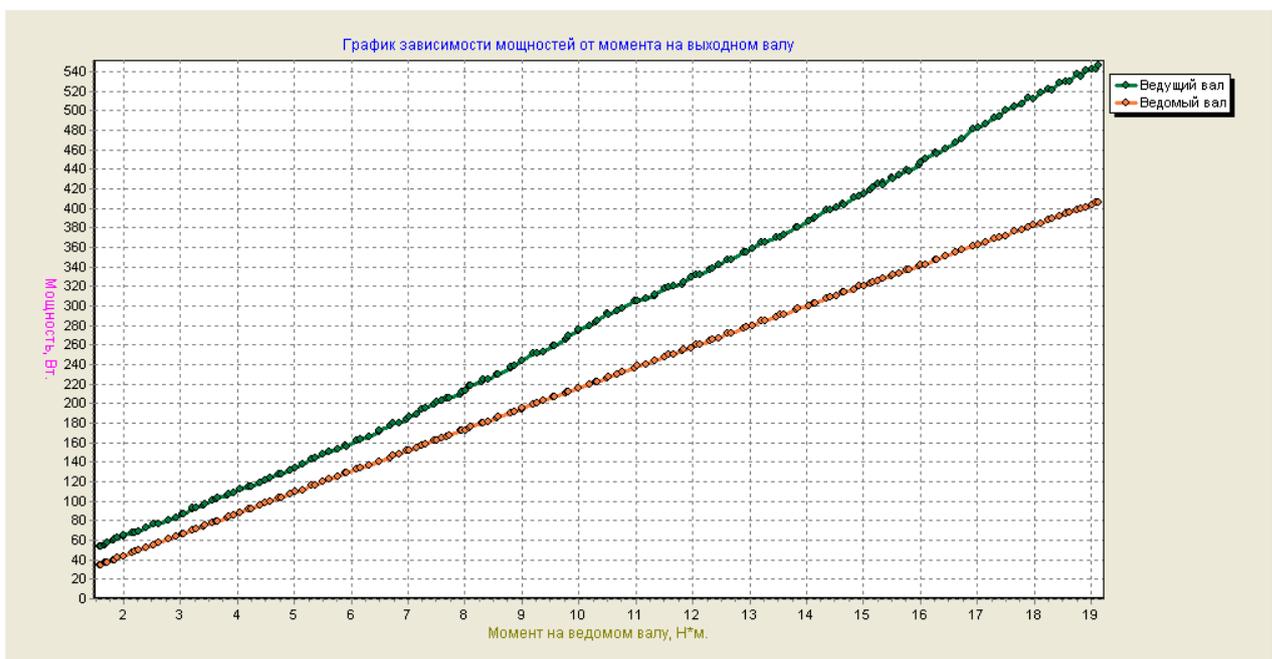
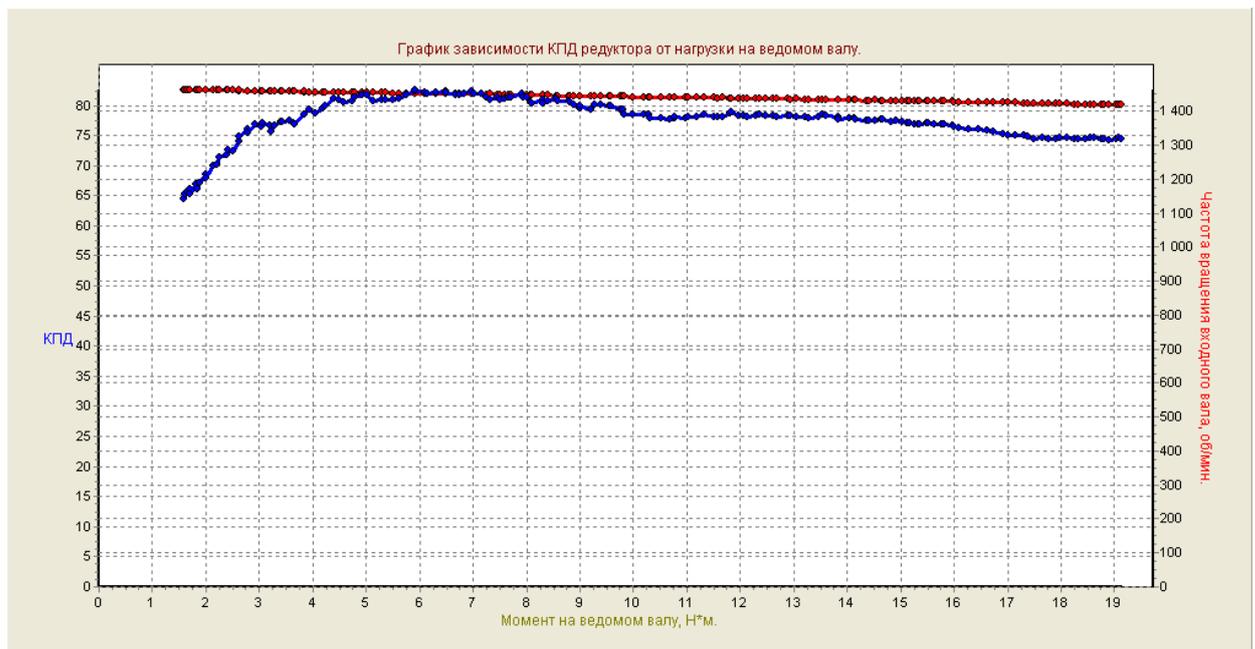


Рис. 11. Отчет по лабораторной работе

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите, формулы, по которым можно определить КПД редуктора.
2. Назовите основные причины потери мощности в редукторе.
3. Как изменяется КПД редуктора с увеличением числа его ступеней?
4. Как будет изменяться КПД редуктора при уменьшении нагрузки T_2 ?
5. Чему равно значение КПД редуктора при нагрузке $T_2 = 0$? Почему?

Лабораторная Работа № 2 «Исследование влияния режимов работы привода на КПД конического редуктора»

Цель работы

Экспериментально исследовать закономерность изменения коэффициента полезного действия (КПД) редуктора при разных режимах работы привода.

В результате выполнения работы студент

должен знать:

- основные составляющие потерь мощности в редукторе, их зависимость от передаваемой нагрузки и частот вращения валов;
- устройство лабораторной установки и методику проведения исследований;

должен уметь:

- экспериментально определять и теоретически рассчитывать вращающие моменты на валах редуктора и по ним определять КПД на различных режимах нагружения;
- обоснованно выбирать режимы эксплуатации редуктора, обеспечивающие минимальные потери, как в приводе, так и в редукторе.

Анализ потерь мощности в редукторе

Коэффициент полезного действия (КПД) редуктора есть отношение полезной мощности к затраченной:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 \cdot \omega_2}{T_1 \cdot \omega_1} = \frac{T_2 \cdot n_2}{T_1 \cdot n_1} = \frac{T_2}{T_1 \cdot i},$$

где P_1, P_2 — мощности на ведущем (затраченная) и на ведомом (полезная) валах редуктора, Вт;

T_1, T_2 — вращающие моменты на ведущем и ведомом валах редуктора, Н·м;

ω_1, ω_2 — угловые скорости вращения ведущего и ведомого валов редуктора, рад/с;

n_1, n_2 — частоты вращения ведущего и ведомого валов редуктора, мин⁻¹;

i — передаточное отношение исследуемого редуктора.

В свою очередь мощность потерь в редукторе, Вт:

$$P_{\psi} = P_1 - P_2 = P_1 \cdot (1 - \eta) = P_1 \cdot \psi,$$

где ψ — коэффициент относительных потерь в редукторе,

$$\psi = 1 - \eta = \psi_3 + \psi_{\Pi} + \psi_{\text{пм}} + \psi_{\text{в}};$$

ψ_3 — коэффициент относительных потерь в зацеплении;

ψ_{Π} — коэффициент относительных потерь в подшипниках;

$\psi_{\text{пм}}$ — коэффициент относительных потерь на перемешивание масла;

$\psi_{\text{в}}$ — коэффициент относительных потерь на привод вентилятора у редукторов с искусственным воздушным охлаждением.

Потери в зацеплении являются следствием чрезвычайно сложного для исследования процесса взаимодействия контактирующих поверхностей зубьев. В общем случае силы трения между зубьями зависят от шероховатости их рабочих поверхностей, режима и вида смазки, соотношения скоростей качения и скольжения в контакте и величины передаваемой полезной нагрузки.

Для зубчатых передач, нарезанных без модификации зацепления, величину коэффициента потерь в зацеплении можно приближенно определить с использованием зависимости

$$\psi_3 \approx 2,3 \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right),$$

где f — коэффициент трения скольжения в контакте сопряженных зубьев;

z_1, z_2 — числа зубьев шестерни и колеса.

В формуле знак «+» — для внешнего зацепления, знак «-» — для внутреннего зацепления.

Формула показывает, что потери сильно увеличиваются с уменьшением чисел зубьев, особенно числа зубьев шестерни.

В режиме полужидкостной смазки силы трения увеличиваются при уменьшении вязкости масла и скорости в зацеплении. При высоких скоростях за счет повышения несущей способности масляного клина между зубьями вступают в силу зависимости, характерные для гидродинамического режима смазки.

Потери на трение в зацеплении обычно принимают пропорциональными полезной нагрузке и относят к так называемым нагрузочным потерям.

Валы современных редукторов обычно устанавливают на подшипниках качения, для которых характерны малые *потери на трение*:

$$\psi_{\Pi} = 0,005 \dots 0,010.$$

Потери на перемешивание масла растут с увеличением окружной скорости, вязкости масла, ширины зубчатых колес и глубины их погружения в масляную ванну.

Коэффициент относительных потерь на привод вентилятора ψ_v существенно зависит от частоты вращения валов.

Раздельное измерение составляющих потерь мощности связано с большими трудностями. Поэтому опытным путем обычно определяют суммарные потери мощности, которые характеризуют общий КПД редуктора.

Средние значения КПД зубчатых передач на подшипниках качения при номинальной нагрузке и жидкой смазке находятся в пределах $\eta = 0,97...0,98$, для открытых передач с пластичной смазкой $\eta = 0,95...0,96$.

При передаче неполной мощности КПД значительно ниже вследствие влияния постоянных потерь, т. е. потерь, не зависящих от передаваемой мощности.

Последовательность выполнения лабораторной работы в диалоговом режиме с элементами автоматизированной системы научных исследований (АСНИ)

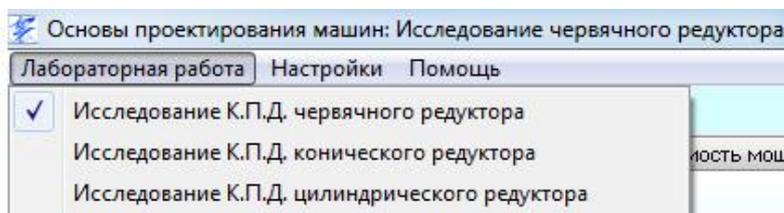


Рис. 12. Выбор лабораторной работы

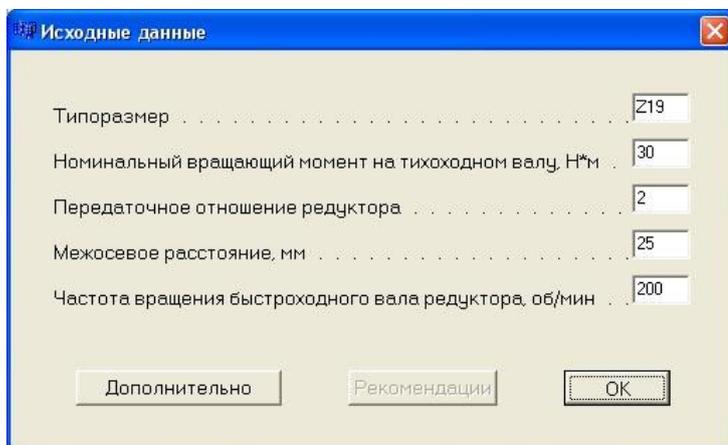


Рис. 13. Окно «Исходные данные»

1. Проверить подключение установки к ПЭВМ, включить питание установки и ПЭВМ.
2. Выбрать лабораторную работу (рис. 12).
3. Нажатием кнопки «Исходные данные» вывести на экран параметры исследуемой передачи (рис. 13).



Рис. 14. Расчетный КПД редуктора

4. Нажатием кнопки «Расчетный КПД» вывести на экран значение расчетного КПД исследуемой передачи (рис. 14).

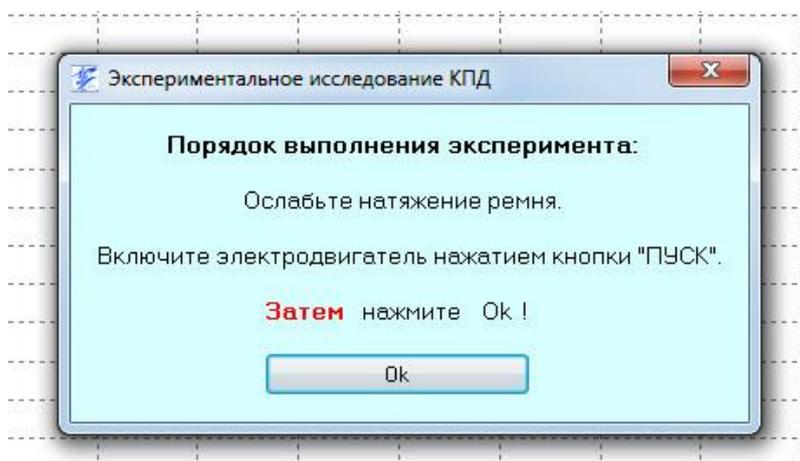


Рис. 15. Окно предварительного этапа эксперимента

5. Проведение эксперимента.

5.1. Нажатием кнопки «Эксперимент» вывести на экран окно предварительного этапа эксперимента (рис. 15).

5.2. Ослабить натяжение ремня и запустить электродвигатель нажатием кнопки «Вкл.» на панели лабораторной установки.

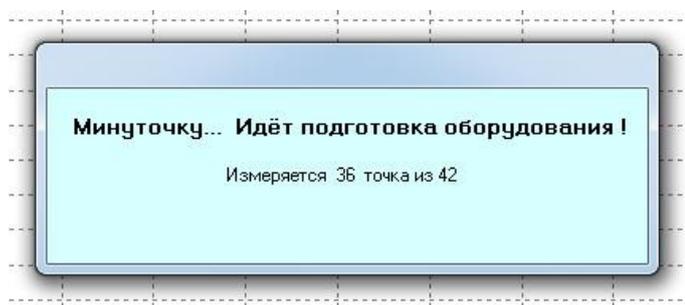


Рис. 16. Окно подготовки оборудования

5.3. Нажатием кнопки «OK» вывести на экран окно подготовки оборудования (рис. 16).

В процессе подготовки оборудования не изменять натяжение ремня.

5.4. После завершения подготовки оборудования на экране начинает отображаться график. Медленно натягивая ремень при помощи натяжного устройства увеличивать нагрузку на редуктор, следя за количеством снимаемых точек и максимальным вращающим моментом на ведомом валу (нижняя строка окна программы рис. 17).

<u>Момент на Ведущем валц, Н*м</u>	<u>Момент на Ведомом валц, Н*м</u>	<u>КПД, %</u>	<input type="button" value="Остановить"/>
1.914	10.21	75.97	

Рис. 17. Проведение эксперимента

5.5. Эксперимент следует завершить нажатием кнопки «Остановить» когда максимальный вращающий момент на ведомом валу составит 33...36 Н·м, при этом количество точек измерения должно быть не менее 150 (чем больше количество точек, тем выше точность эксперимента);

5.6. Ослабить натяжение ремня. Остановить электродвигатель нажатием кнопки «Выкл.» на панели лабораторной установки.

5.7. Выключить установку.

6. Обработка результатов.

Вкладка «График зависимости КПД от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость КПД исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу.

Вкладка «График зависимости мощностей от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость мощностей на ведущем и ведомом валах исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу (рис. 18).

Для обработки полученных результатов вводим значение глубины фильтра (осреднение) в поле осреднения результатов (верхний правый угол окна программы). Значение глубины фильтра должно быть кратным 7 и зависит от количества точек измерения.

При количестве точек измерения больше 100 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 14, 21. При количестве точек измерения больше 150 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 21, 28. При количестве точек измерения больше 200 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 28, 35. Осреднение осуществляется на обоих графиках одновременно (рис. 19).

7. Оформление отчета по лабораторной работе

После выбора оптимальной глубины фильтра и применения его к полученным результатам нажать кнопку «Отчет». При нажатии кнопки «Отчет» (рис. 2) программа открывает MS WORD® и вставляет в него отчет по проведенной лабораторной работе (рис. 20) (рекомендуется использовать MS Office 2000® или MS Office XP®), при этом если графики были обработаны при помощи фильтра осреднения результатов, то в отчет выводятся обработанные графики. Если на ПЭВМ не установлен MS Office®, программа использует WordPad входящей в стандартную поставку MS Windows®

В отчете необходимо ввести фамилии студентов выполнявших лабораторную работу, номер группы, факультет и фамилию преподавателя. Отчет сохранить в любую удобную папку средствами MS WORD® (WordPad).

8. При необходимости повторного проведения лабораторной работы необходимо сделать сброс всех полученных данных, выбрав требуемую строчку в меню «настройка» (вкладка 3 рис. 2), либо нажав комбинацию клавиш <Ctrl+Delete>.

ВНИМАНИЕ!

Выбор другой лабораторной работы сбрасывает все полученные данные, поэтому перед переходом к другой лабораторной работе необходимо убедиться, что результаты сохранены в отчет.

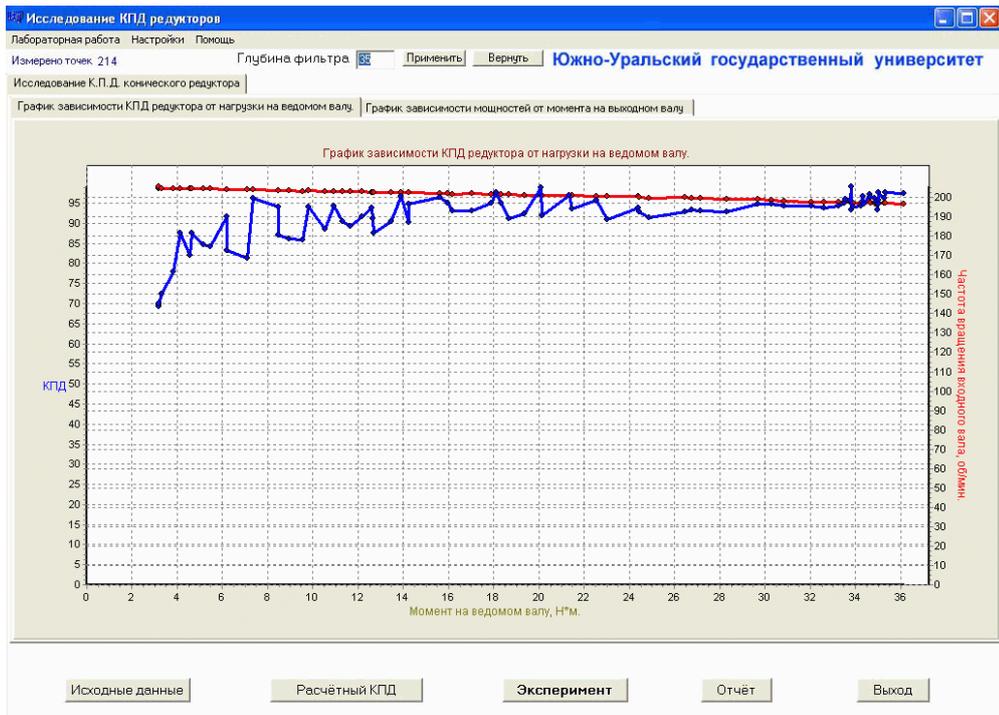


Рис. 18. Результаты эксперимента

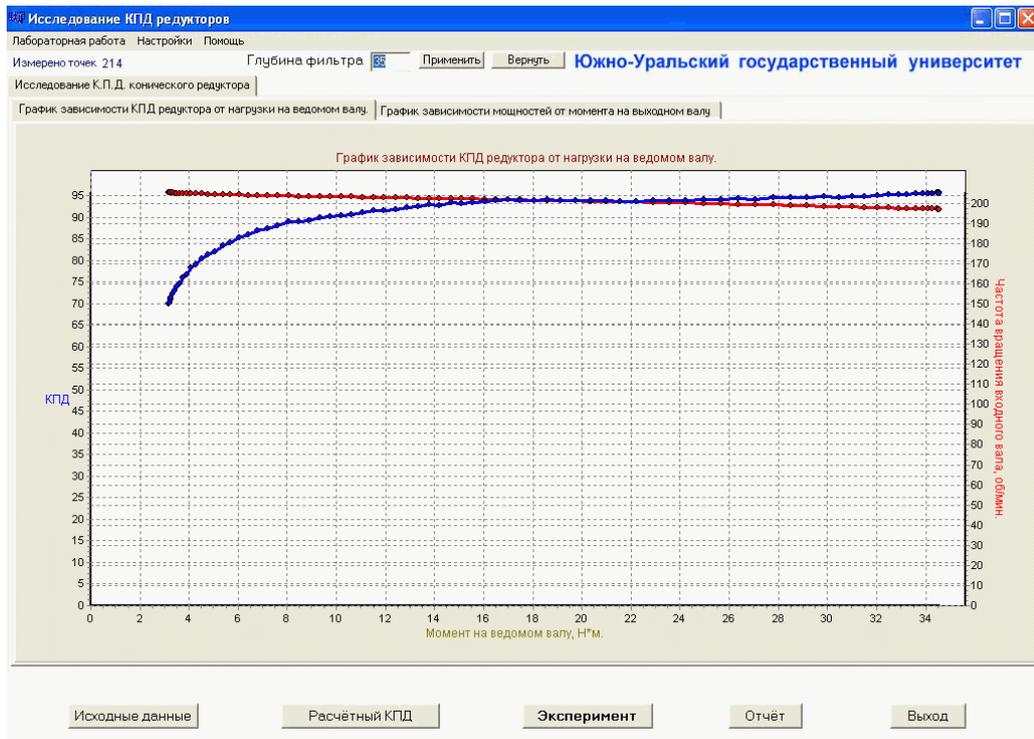


Рис. 19. Результаты эксперимента с применением фильтра

Студенты:

Группа:

Факультет:

Преподаватель:

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:

"Исследование КПД конического редуктора"

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Типоразмер.....Z19

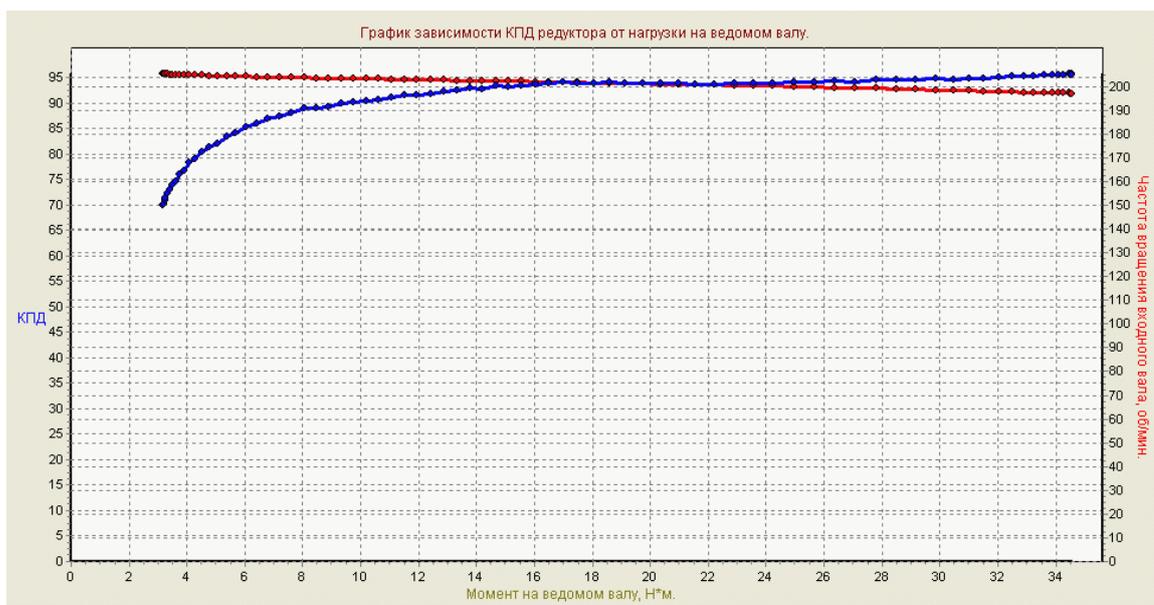
Номинальный вращающий момент на тихоходном валу, Н*м. 30

Передаточное отношение редуктора..... 2

Межосевое расстояние, мм 25

Частота вращения быстроходного вала редуктора, об/мин..... 200

Расчетный КПД95 %



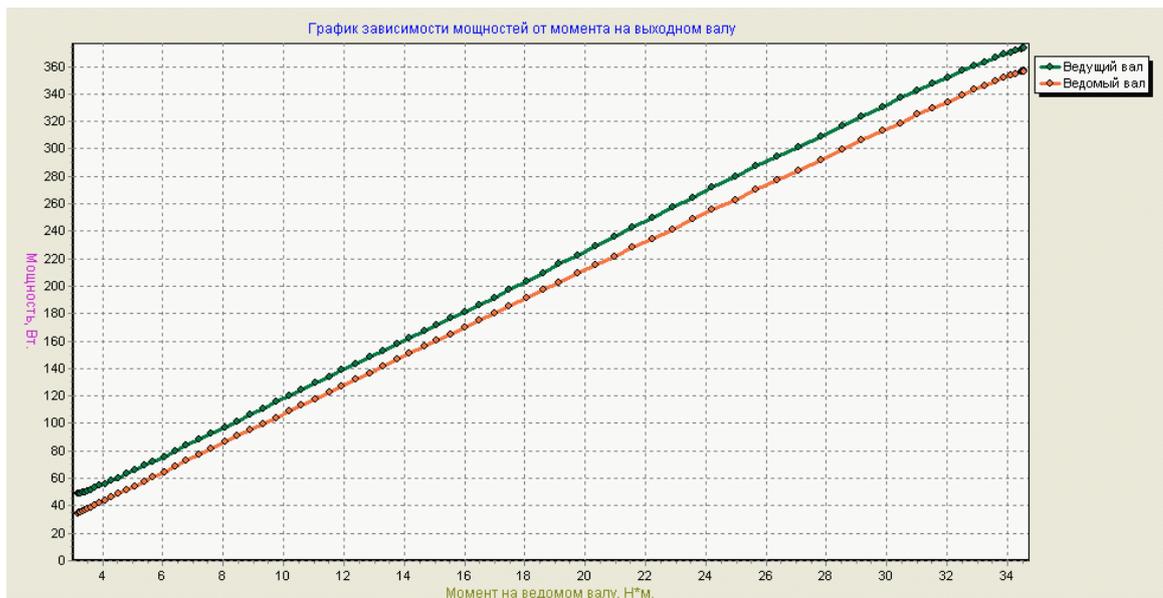


Рис. 20. Отчет по лабораторной работе

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите, формулы, по которым можно определить КПД редуктора.
2. Назовите основные причины потери мощности в редукторе.
3. Как изменяется КПД редуктора с увеличением числа его ступеней?
4. Как будет изменяться КПД редуктора при уменьшении нагрузки T_2 ?
5. Чему равно значение КПД редуктора при нагрузке $T_2 = 0$? Почему?

Лабораторная работа № 3

«Исследование влияния режимов работы привода на КПД цилиндрического редуктора»

Цель работы

Экспериментально исследовать закономерность изменения коэффициента полезного действия (КПД) редуктора при разных режимах работы привода.

В результате выполнения работы студент

должен знать:

- основные составляющие потерь мощности в редукторе, их зависимость от передаваемой нагрузки и частот вращения валов;
- устройство лабораторной установки и методику проведения исследований;

должен уметь:

- экспериментально определять и теоретически рассчитывать вращающие моменты на валах редуктора и по ним определять КПД на различных режимах нагружения;
- обоснованно выбирать режимы эксплуатации редуктора, обеспечивающие минимальные потери, как в приводе, так и в редукторе.

Анализ потерь мощности в редукторе

Коэффициент полезного действия (КПД) редуктора есть отношение полезной мощности к затраченной:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 \cdot \omega_2}{T_1 \cdot \omega_1} = \frac{T_2 \cdot n_2}{T_1 \cdot n_1} = \frac{T_2}{T_1 \cdot i},$$

где P_1, P_2 — мощности на ведущем (затраченная) и на ведомом (полезная) валах редуктора, Вт;

T_1, T_2 — вращающие моменты на ведущем и ведомом валах редуктора, Н·м;

ω_1, ω_2 — угловые скорости вращения ведущего и ведомого валов редуктора, рад/с;

n_1, n_2 — частоты вращения ведущего и ведомого валов редуктора, мин⁻¹;

i — передаточное отношение исследуемого редуктора.

В свою очередь мощность потерь в редукторе, Вт:

$$P_{\psi} = P_1 - P_2 = P_1 \cdot (1 - \eta) = P_1 \cdot \psi,$$

где ψ — коэффициент относительных потерь в редукторе,

$$\psi = 1 - \eta = \psi_3 + \psi_{\Pi} + \psi_{\text{ПМ}} + \psi_{\text{В}};$$

ψ_3 — коэффициент относительных потерь в зацеплении; ψ_{Π} — коэффициент относительных потерь в подшипниках;

$\psi_{\text{ПМ}}$ — коэффициент относительных потерь на перемешивание масла;

$\psi_{\text{В}}$ — коэффициент относительных потерь на привод вентилятора у редукторов с искусственным воздушным охлаждением.

Потери в зацеплении являются следствием чрезвычайно сложного для исследования процесса взаимодействия контактирующих поверхностей зубьев. В общем случае силы трения между зубьями зависят от шероховатости их рабочих поверхностей, режима и вида смазки, соотношения скоростей качения и скольжения в контакте и величины передаваемой полезной нагрузки.

Для зубчатых передач, нарезанных без модификации зацепления, величину коэффициента потерь в зацеплении можно приближенно определить с использованием зависимости

$$\psi_3 \approx 2,3 \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right),$$

где f — коэффициент трения скольжения в контакте сопряженных зубьев; z_1, z_2 — числа зубьев шестерни и колеса.

В формуле знак «+» — для внешнего зацепления, знак «-» — для внутреннего зацепления.

Формула показывает, что потери сильно увеличиваются с уменьшением чисел зубьев, особенно числа зубьев шестерни.

В режиме полужидкостной смазки силы трения увеличиваются при уменьшении вязкости масла и скорости в зацеплении. При высоких скоростях за счет повышения несущей способности масляного клина между зубьями вступают в силу зависимости, характерные для гидродинамического режима смазки.

Потери на трение в зацеплении обычно принимают пропорциональными полезной нагрузке и относят к так называемым нагрузочным потерям.

Валы современных редукторов обычно устанавливают на подшипниках качения, для которых характерны малые *потери на трение*:

$$\psi_{\Pi} = 0,005 \dots 0,010.$$

Потери на перемешивание масла растут с увеличением окружной скорости, вязкости масла, ширины зубчатых колес и глубины их погружения в масляную ванну.

Коэффициент относительных потерь на привод вентилятора ψ_v существенно зависит от частоты вращения валов.

Раздельное измерение составляющих потерь мощности связано с большими трудностями. Поэтому опытным путем обычно определяют суммарные потери мощности, которые характеризуют общий КПД редуктора.

Средние значения КПД зубчатых передач на подшипниках качения при номинальной нагрузке и жидкой смазке находятся в пределах $\eta = 0,97...0,98$, для открытых передач с пластичной смазкой $\eta = 0,95...0,96$.

При передаче неполной мощности КПД значительно ниже вследствие влияния постоянных потерь, т. е. потерь, не зависящих от передаваемой мощности.

Последовательность выполнения лабораторной работы в диалоговом режиме с элементами автоматизированной системы научных исследований (АСНИ)



Рис. 21. Выбор лабораторной работы

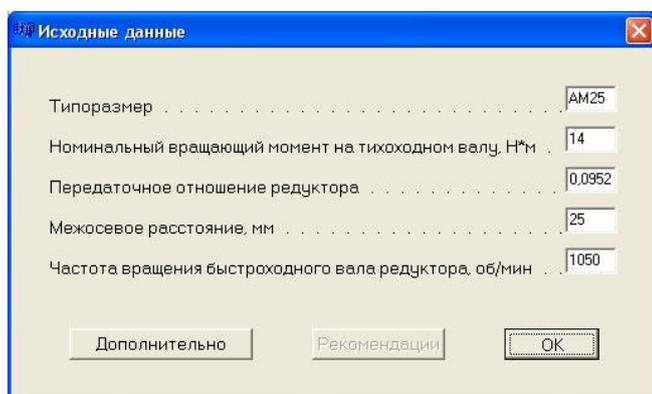


Рис. 22. Окно «Исходные данные»

1. Проверить подключение установки к ЭВМ, включить питание установки и ЭВМ.
2. Выбрать лабораторную работу (рис. 21).
3. Нажатием кнопки «Исходные данные» вывести на экран параметры исследуемой передачи (рис. 22).

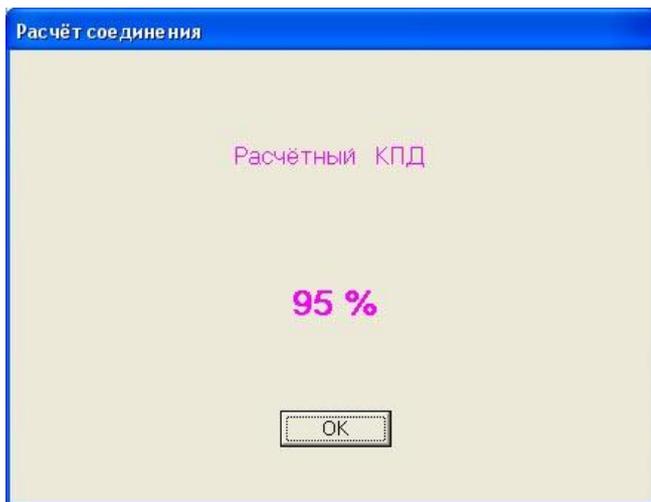


Рис. 23. Расчетный КПД редуктора

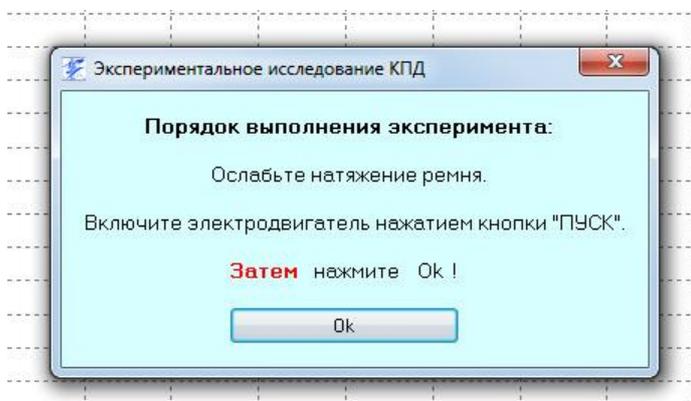


Рис. 24. Окно предварительного этапа эксперимента

5.2. Ослабить натяжение ремня и запустить электродвигатель нажатием кнопки «Вкл.» на панели лабораторной установки.

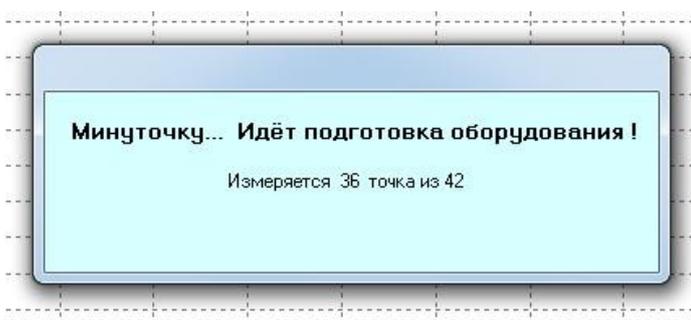


Рис. 25. Окно подготовки оборудования

В процессе подготовки оборудования не изменять натяжение ремня.

4. Нажатием кнопки «Расчетный КПД» вывести на экран значение расчетного КПД исследуемой передачи (рис. 23).

5. Проведение эксперимента.

5.1. Нажатием кнопки «Эксперимент» вывести на экран окно предварительного этапа эксперимента (рис. 24).

5.3. Нажатием кнопки «OK» вывести на экран окно подготовки оборудования (рис. 25).

5.4. После завершения подготовки оборудования на экране начинает отображаться график. Медленно натягивая ремень при помощи натяжного устройства увеличивать нагрузку на редуктор, следя за количеством снимаемых точек и максимальным вращающим моментом на ведомом валу (нижняя строка окна программы рис. 26).

Момент на Ведущем валу, Н*м	Момент на Ведомом валу, Н*м	КПД, %	<input type="button" value="Остановить"/>
1.914	10.21	75.97	

Рис. 26. Проведение эксперимента

5.5. Эксперимент следует завершить нажатием кнопки «Остановить» когда максимальный вращающий момент на ведомом валу составит 2,2...2,5 Н·м, при этом количество точек измерения должно быть не менее 150 (чем больше количество точек, тем выше точность эксперимента);

5.6. Ослабить натяжение ремня. Остановить электродвигатель нажатием кнопки «Выкл.» на панели лабораторной установки.

5.7. Выключить установку.

6. Обработка результатов.

Вкладка «График зависимости КПД от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость КПД исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу.

Вкладка «График зависимости мощностей от нагрузки на ведомом валу» отображает зависимость мощностей на ведущем и ведомом валах исследуемой передачи от вращающего момента на ведомом валу (рис. 27).

Для обработки полученных результатов вводим значение глубины фильтра (осреднение) в поле осреднения результатов (верхний правый угол окна программы). Значение глубины фильтра должно быть кратным 7 и зависит от количества точек измерения.

При количестве точек измерения больше 100 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 14, 21. При количестве точек измерения больше 150 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 21, 28. При количестве точек измерения больше 200 значение глубины фильтра ориентировочно должно быть 28, 35. Осреднение осуществляется на обоих графиках одновременно (рис. 28).

7. Оформление отчета по лабораторной работе.

После выбора оптимальной глубины фильтра и применения его к полученным результатам нажать кнопку «Отчет». При нажатии кнопки «Отчет» (рис. 2) программа открывает MS WORD® и вставляет в него отчет по проведенной лабораторной работе (рис. 29) (рекомендуется использовать MS Office 2000® или MS Office XP®), при этом если графики были обработаны при помощи фильтра осреднения результатов, то в отчет выводятся обработанные графики. Если на ПЭВМ не установлен MS Office®, программа использует WordPad входящей в стандартную поставку MS Windows®

В отчете необходимо ввести фамилии студентов выполнявших лабораторную работу, номер группы, факультет и фамилию преподавателя. Отчет сохранить в любую удобную папку средствами MS WORD® (WordPad).

8. При необходимости повторного проведения лабораторной работы необходимо сделать сброс всех полученных данных, выбрав требуемую строчку в меню «настройка» (вкладка 3 рис. 2), либо нажав комбинацию клавиш <Ctrl+Delete>.

ВНИМАНИЕ!

Выбор другой лабораторной работы сбрасывает все полученные данные, поэтому перед переходом к другой лабораторной работе необходимо убедиться, что результаты сохранены в отчет.

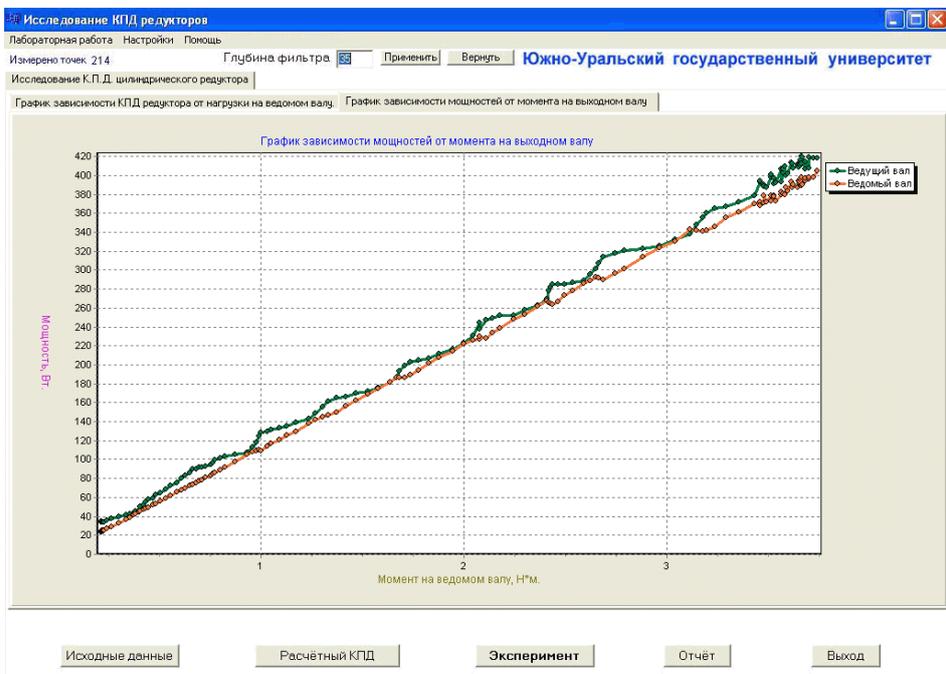
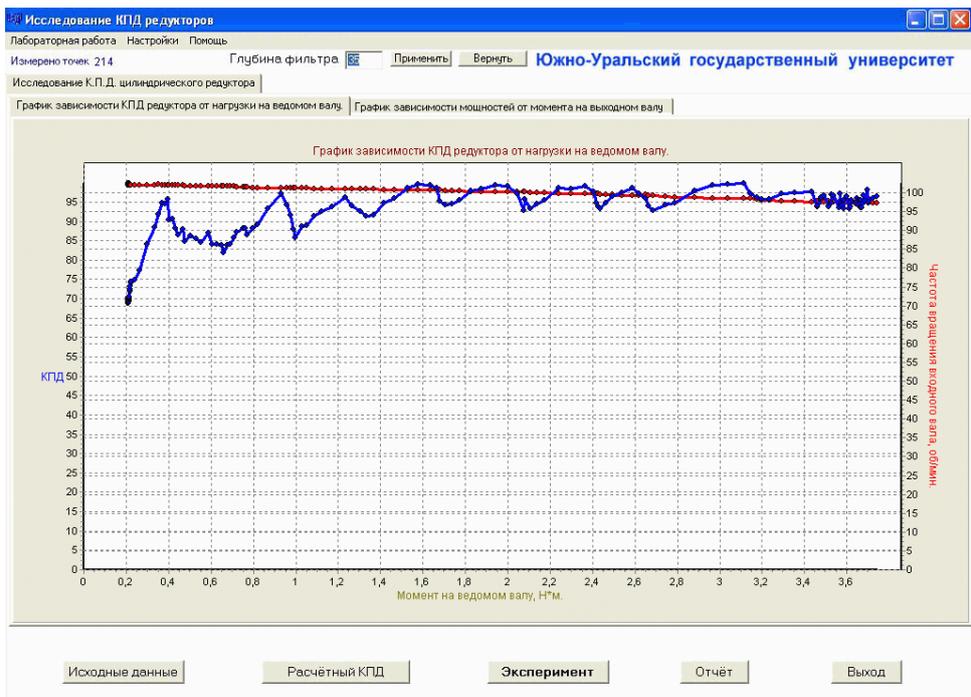


Рис. 27. Результаты эксперимента

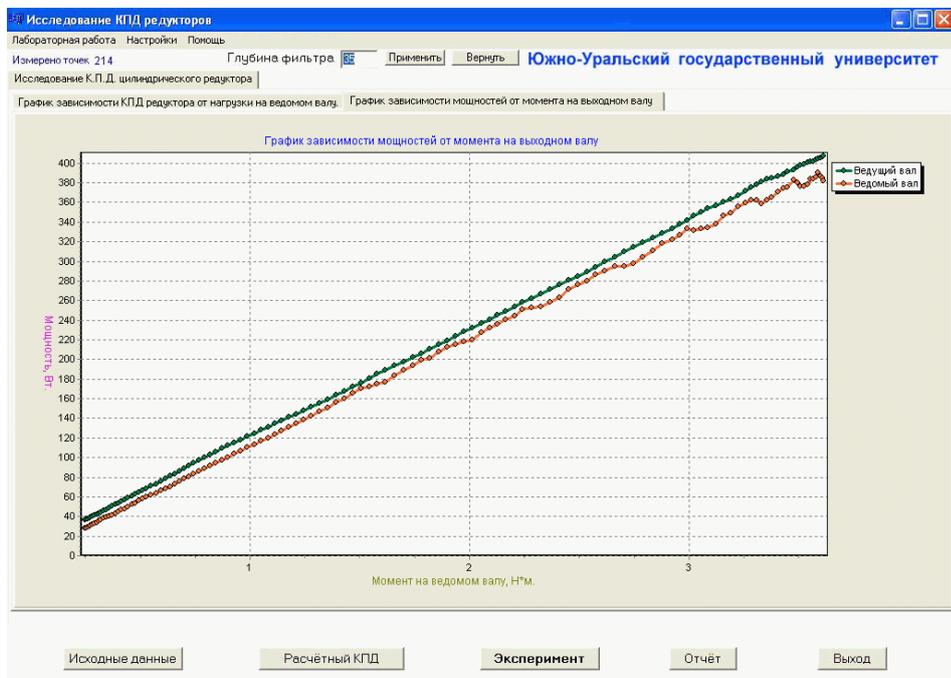
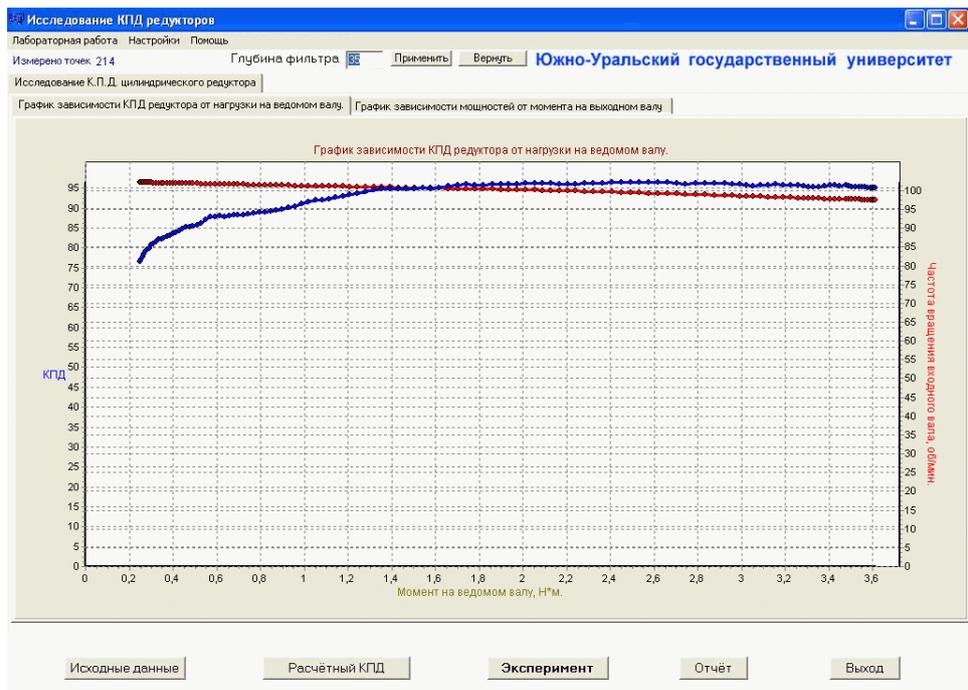


Рис. 28. Результаты эксперимента с применением фильтра

Студенты:

Группа:

Факультет:

Преподаватель:

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:

"Исследование КПД цилиндрического редуктора"

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Типоразмер.....AM25

Номинальный вращающий момент на тихоходном валу, Н*м. 14

Передаточное отношение редуктора..... 0.0952

Межосевое расстояние, мм 25

Частота вращения быстроходного вала редуктора, об/мин.. 1 050

Расчетный КПД95 %

19.08.2007

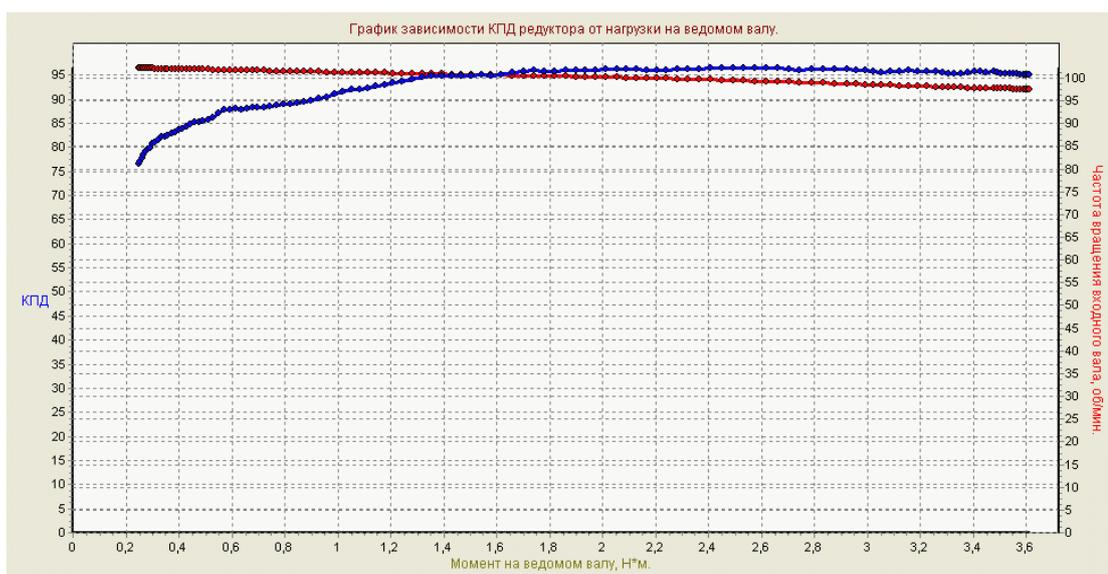




Рис. 29. Отчет по лабораторной работе

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите, формулы, по которым можно определить КПД редуктора.
2. Назовите основные причины потери мощности в редукторе.
3. Как изменяется КПД редуктора с увеличением числа его ступеней?
4. Как будет изменяться КПД редуктора при уменьшении нагрузки T_2 ?
5. Чему равно значение КПД редуктора при на при нагрузке $T_2 = 0$? Почему?

Контрольные вопросы

1. Каково назначение передач?
2. По каким признакам классифицируются механические передачи?
3. По каким параметрам производится расчет механических передач?
4. Как определяется передаточное отношение отдельных видов передач: зубчатых, червячных, ременных, цепных, фрикционных? Как определяется передаточное отношение сложного привода?
5. От чего зависит КПД передачи? Как можно повысить КПД передачи?