

ОСНОВЫ ТРИБОФАТИКИ

ЖУРНАЛ
лабораторных работ

Гомель 2021

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры
«Сельскохозяйственные
машины»

(подпись)

«__» _____ 20 __ г.

ЖУРНАЛ

лабораторных работ

по курсу _____
(название дисциплины)

выполнил: студент _____
(Ф.И.О)

группа или учебный шифр _____

руководитель: _____
(должность) (Ф.И.О)

Отметки о защите работ

1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

Гомель
20____ / 20____ учебный год

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

МУ	– механическая усталость
КУ	– контактная усталость (трение качения)
ФУ	– фрикционная усталость (трение скольжения)
КМУ	– контактно-механическая усталость
ФМУ	– фрикционно-механическая усталость
ПС	– предельное состояние
ПЭ	– прямой эффект
ОЭ	– обратный эффект
Q	– изгибающая нагрузка, Н
σ	– номинальные напряжения, МПа
σ_a	– амплитуда напряжений цикла, МПа
F_N	– контактная нагрузка, Н
p, p_a	– контактное давление (напряжение), МПа
p_0	– максимальное напряжение в центре контактной площадки, МПа
τ_w	– фрикционное напряжение, МПа
N	– долговечность, цикл
N_B	– база испытаний, цикл
n	– число циклов нагружения, цикл
T	– период цикла
ω	– угловая скорость вращения образца (контробразца), об/мин
d	– диаметр рабочей части образца, мм
L	– расстояние от оси приложения изгибающей нагрузки до опасного сечения образца, мм
α	– угол наклона левой ветви кривой усталости к оси абсцисс, °
σ_{-1}	– предел выносливости при симметричном цикле, МПа
p_f	– предел контактной выносливости, МПа
m	– показатель наклона левой ветви кривой усталости
N_G	– абсцисса точки перелома кривой усталости

Разработал: к.т.н. С. А. Тюрин

1 МАШИНЫ СЕРИИ СИ ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ: УСТРОЙСТВО И РАБОТА

1.1 Цель: изучить технические характеристики, конструктивные особенности и принцип работы машин серии СИ для износоусталостных испытаний.

1.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ; различные типы образцов и контро образцов.

1.3 Назначение и область применения

1.4 Схемы испытаний

Основные схемы испытаний на машинах серии СИ приведены на рисунках 1.1 и 1.2.

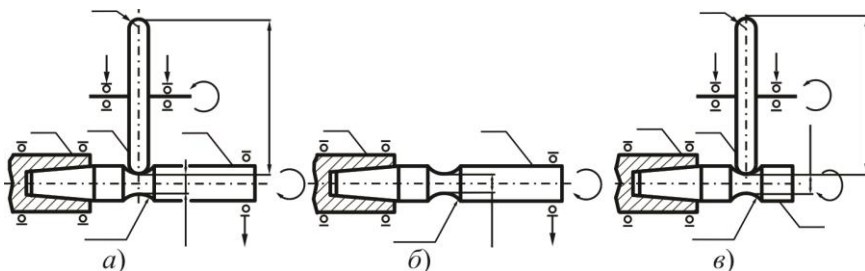


Рисунок 1.1 –

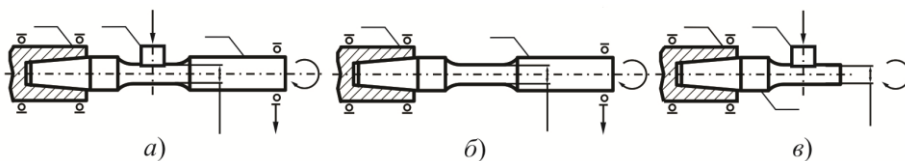


Рисунок 1.2 –

1.5 Принципиальная схема

Взаимосвязь составных частей испытательной установки машины СИ-03 показана на схеме (рисунок 1.3).

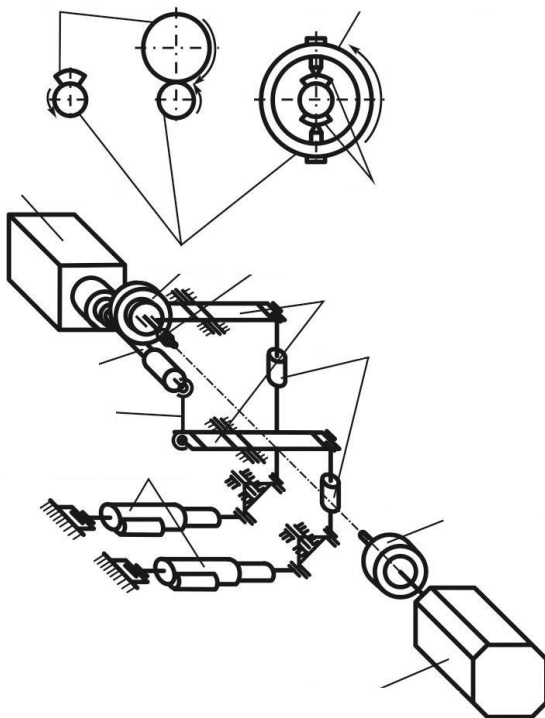


Рисунок 1.3 – _____

1.6 Технические характеристики базовых машин

Основные технические характеристики машин СИ-01, СИ-02, СИ-03 приведены в таблице.

Наименование показателей	СИ-01	СИ-02	СИ-03
	Пара трения		
	Цилиндр – колодка	Цилиндр – ролик	Цилиндр – колодка, цилиндр – ролик
Диаметр рабочей части образца, мм			
Размеры контробразца, мм			
Диапазон частот вращения образца, мин ⁻¹			
Диапазон частот вращения контробразца, мин ⁻¹			
Диапазон изгибающих нагрузок, Н			
Диапазон контактных нагрузок, Н			
Диапазон измерения суммарного износа образца и контробразца, мкм			
Диапазон измерения момента трения, Н · м: – при трении скольжения – при трении качения			

1.7 Общий вид одной из машин

Общий вид испытательной машины СИ-03 показан на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 –

1.8 Конструктивные особенности

1.9 Техника безопасности

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

1.10 Выводы

Дата _____ Отметка о защите работы
(подпись преподавателя) _____

2 ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ МАШИН СЕРИИ СИ: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТА

2.1 Цель: изучить принципы построения информационно-управляющих систем (ИУС) машин серии СИ, а также методы измерения и регистрации параметров износоусталостного повреждения.

2.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ.

2.3 Назначение

2.4 Структура

Структура ИУС представлена на рисунке 2.1.

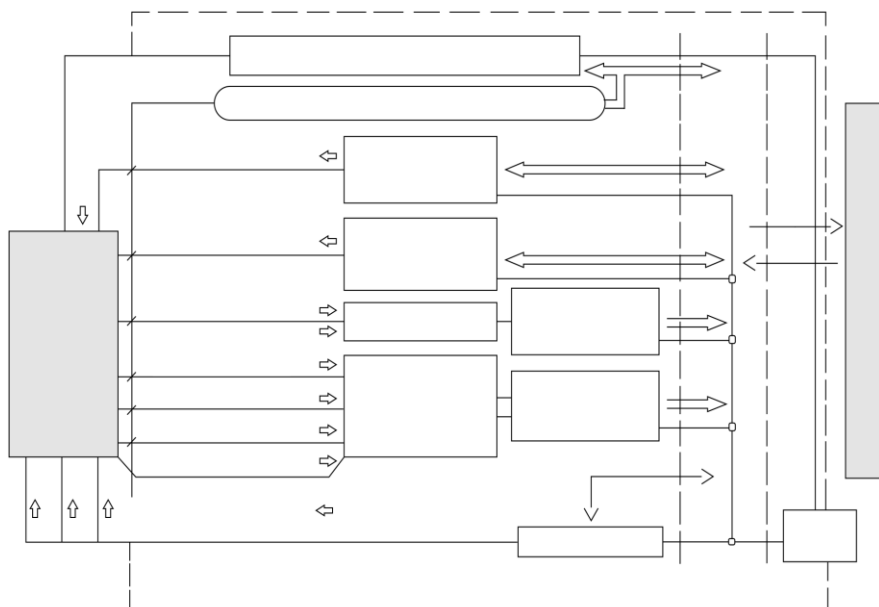


Рисунок 2.1 –

2.5 Организация

Принципы управления параметрами испытаний показаны на электромеханической схеме расположения датчиков и приводов машины СИ-03 (рисунок 2.2).

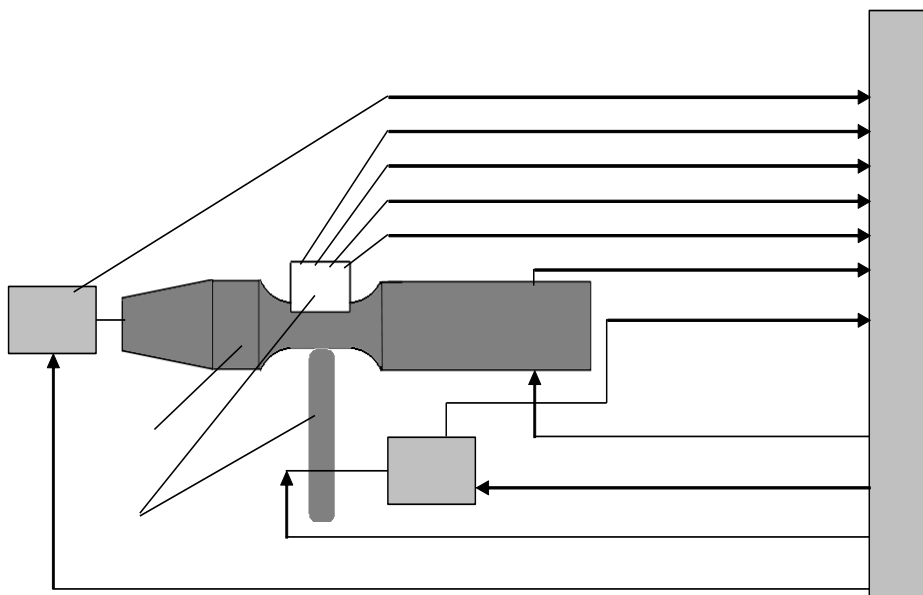


Рисунок 2.2 – _____

2.6 Программно-математическое обеспечение

В процессе испытаний на экране ПЭВМ отображаются основные параметры испытания и измеряемые величины (рисунок 2.3).

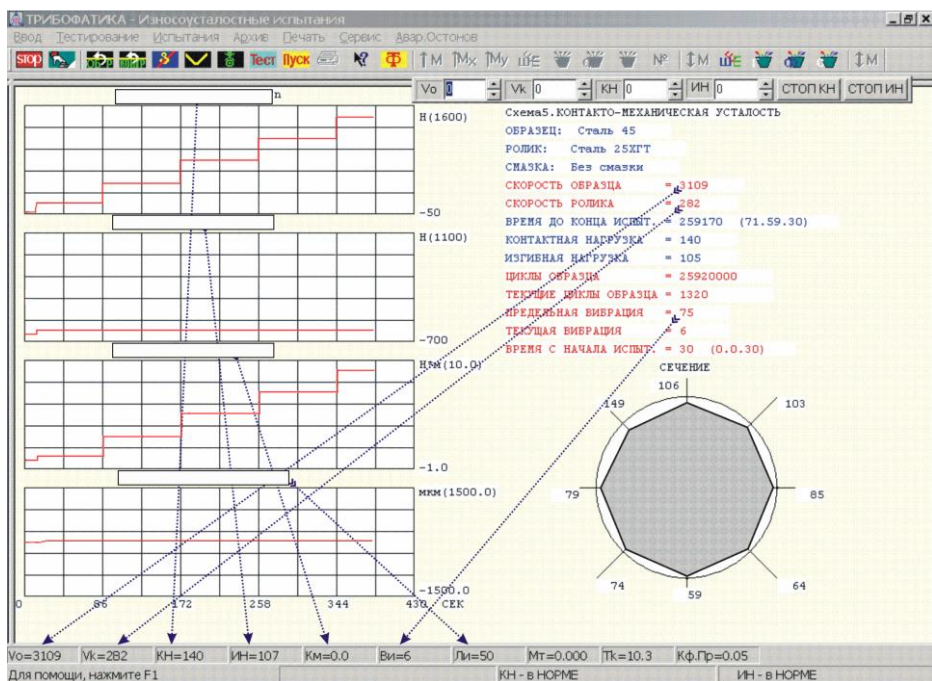


Рисунок 2.3 –

2.7 Выводы

Дата _____

Отметка о защите работы

(подпись преподавателя) _____

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

3.1 Цель: экспериментально определить основные характеристики сопротивления МУ.

3.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, объекты испытаний: элементы конструкции (образцы).

3.3 Основные механические характеристики материала образца

Марка материала: _____

Предела прочности: _____

Предел текучести: _____

Относительное удлинение после разрыва: _____

Относительное сужение после разрыва: _____

3.4 Схема испытаний на МУ. Расчет напряжений в образце

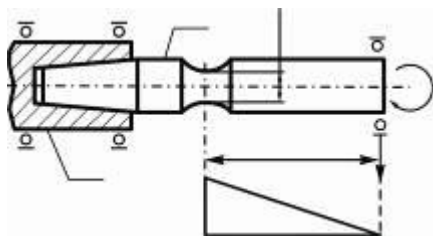


Рисунок 3.1 – _____

При испытаниях на МУ максимальные изгибные напряжения (амплитуду напряжений цикла) в опасном сечении образца определяют по формуле

$$\sigma_a = \sigma_{\max} = \text{---}, \quad (3.1)$$

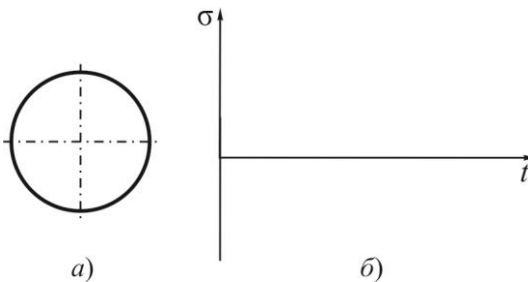
где $M = \text{---}$

$W = \text{---}$

Зависимость амплитуды напряжений от величины изгибающей нагрузки (для заданных размеров образца):

$$\sigma_a = \text{---} = \text{---} = \text{---}. \quad (3.2)$$

Рисунок 3.2 – _____



$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ – _____

$\sigma_a =$ _____

$\sigma_m =$ _____

$R_\sigma =$ _____

3.5 Схема построения кривой МУ, определение ее параметров

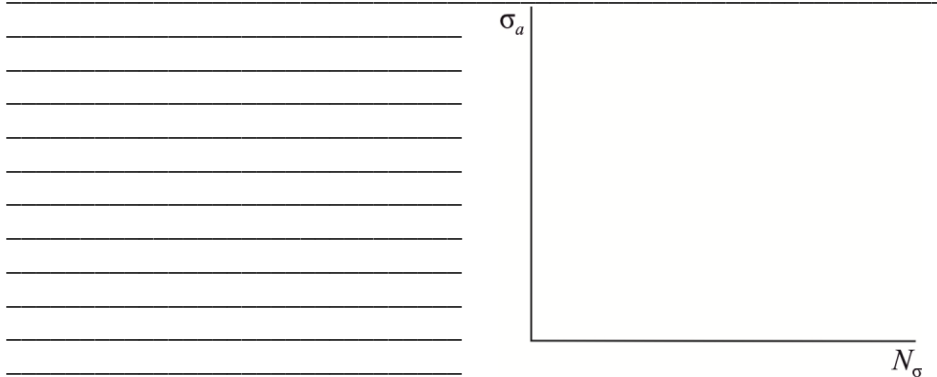


Рисунок 3.3 – _____

Уравнение кривой МУ:

(3.3)

3.6 Обработка результатов испытаний методом наименьших квадратов

Результаты испытаний на МУ и их обработка методом наименьших квадратов приведены в таблице.

№ образца	σ_a , МПа	N , цикл	$y_i = \lg \sigma_a$	$x_i = \lg N_\sigma$	x_i^2	$x_i y_i$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Σ						
7						
8						

Левая ветвь кривой МУ в двойных логарифмических шкалах аппроксимируется прямой линией, которая описывается уравнением

$$y = \text{_____}, \quad (3.4)$$

где $x = \text{_____}$ и $y = \text{_____}$, так что

$$\lg \sigma_a = \text{_____}. \quad (3.5)$$

Коэффициенты a и b данного уравнения определяют по формулам:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \text{_____}, \quad (3.6)$$

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \text{_____}. \quad (3.7)$$

С учетом полученных значений коэффициентов a и b уравнение кривой МУ:

$$\lg \sigma_a = \text{_____}. \quad (3.8)$$

Показатель наклона левой ветви кривой МУ:

$$m_{\sigma} = \frac{1}{|a|} = \frac{\quad}{\quad} = \quad. \quad (3.9)$$

Абсциссу точки перелома кривой МУ находим из выражения (3.8), подставляя в него значение $\sigma_{-1} = \quad$ МПа:

$$\lg N_{G\sigma} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} = \quad.$$

Тогда получаем, что $N_{G\sigma} = \quad$ циклов.

3.7 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

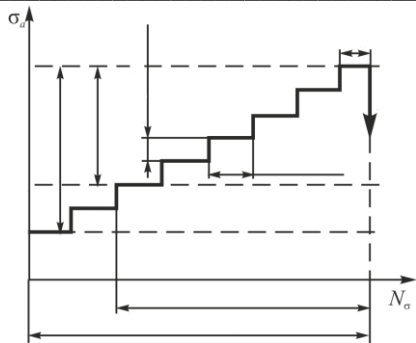


Рисунок 3.4 – \quad

3.8 Экспериментальное определение характеристик сопротивления МУ

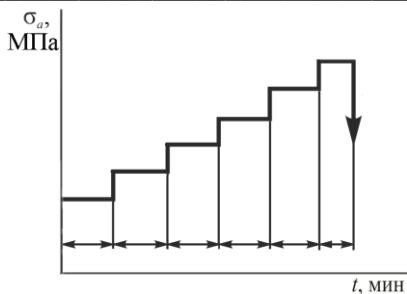


Рисунок 3.5 – _____

Характеристика свойств	Обозначение	Численное значение

3.9 Выводы

Дата _____ Отметка о защите работы
(подпись преподавателя) _____

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТИ

4.1 Цель: экспериментально определить характеристики трения и изнашивания при КУ.

4.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, объекты испытаний: пары трения (образцы и контробразцы).

4.3 Схема испытаний на КУ. Расчет контактных напряжений

Рисунок 4.1 – _____

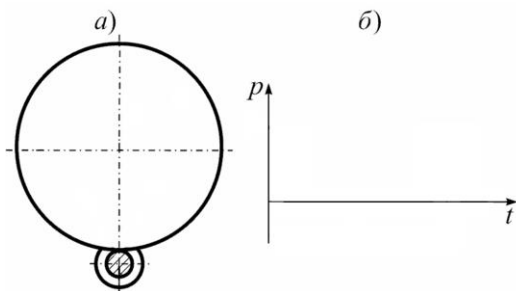
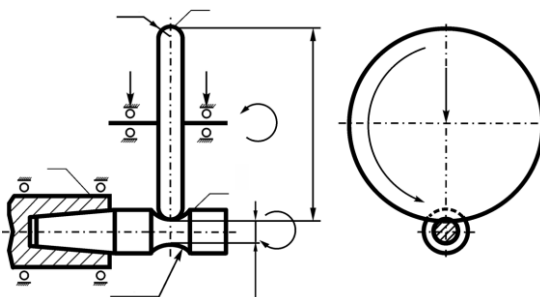


Рисунок 4.2 – _____

Максимальные контактные напряжения p_0 в центре контактной площадки (согласно Р 50-54-30-87) определяют по формуле

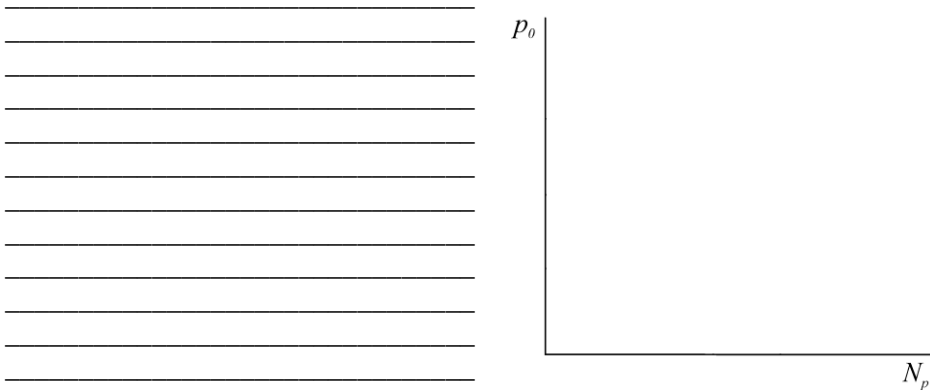


Рисунок 4.4 – _____

Уравнение кривой КУ:

(4.6)

4.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

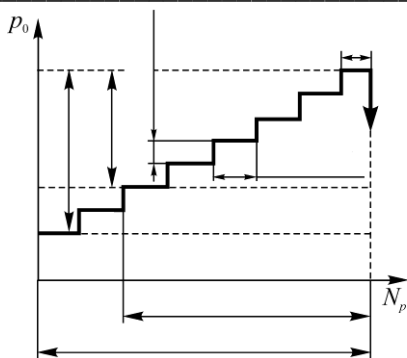


Рисунок 4.5 – _____

4.6 Экспериментальное определение характеристик трения и изнашивания при КУ

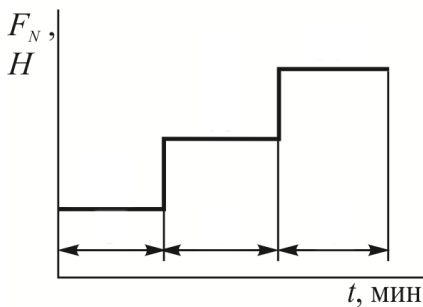


Рисунок 4.6 – _____

№ ступени	F_N , Н	p_0 , МПа	$N_{\Sigma p}$, цикл	$t_{\Sigma p}$, мин	δ_c , мкм

4.7 Изучение характера повреждений

Характер повреждения поверхности образца после проведения испытаний показан на рисунке 4.7.

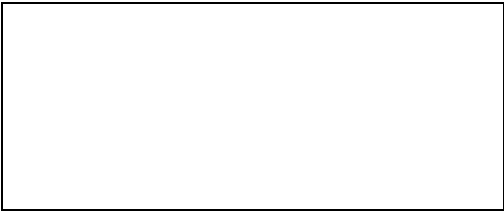


Рисунок 4.7 – _____

4.8 Выводы

Дата _____

Отметка о защите работы
(подпись преподавателя) _____

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

5.1 Цель: экспериментально определить характеристики трения и изнашивания при КМУ (обратный эффект).

5.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, объекты испытаний: трибофатические системы (образцы и контролбразцы).

5.3 Схема испытаний на КМУ

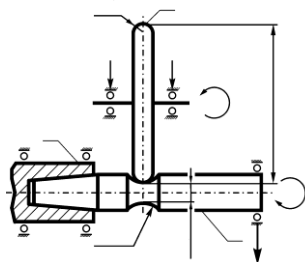


Рисунок 5.1 – _____

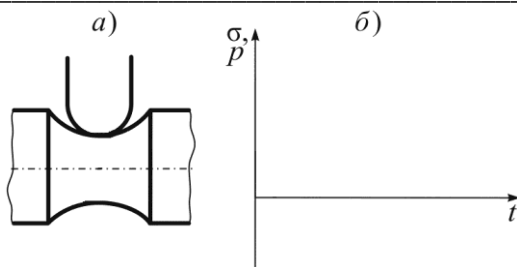


Рисунок 5.2 – _____

5.4 Кривые КМУ и их параметры

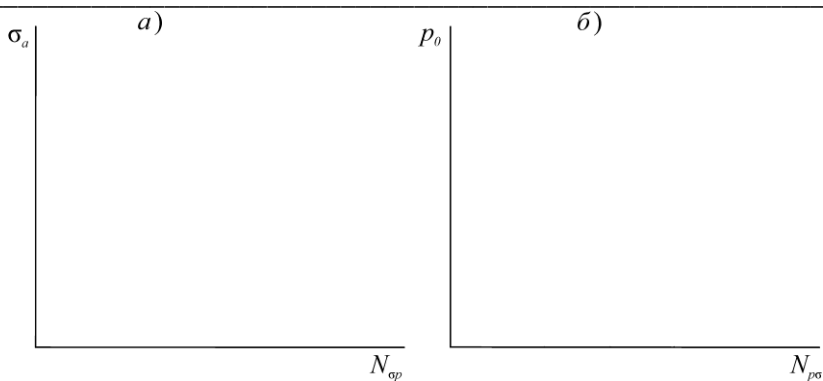


Рисунок 5.3 – _____

5.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

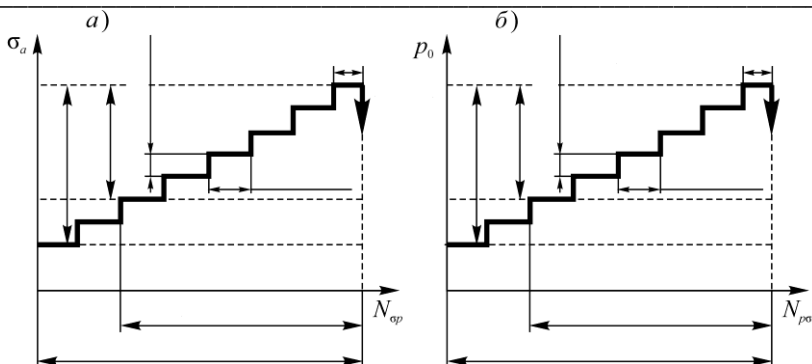


Рисунок 5.4 –

5.5 Экспериментальное определение характеристик трения и изнашивания при КМУ (ОЭ)

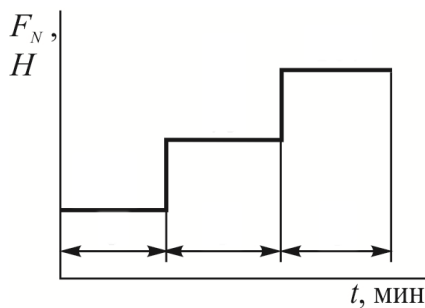


Рисунок 5.5 –

№ ступени	σ_a , МПа	F_N , Н	p_0 , МПа	$N_{\Sigma p \sigma}$ цикл	$t_{\Sigma p \sigma}$, мин	δ_c , мкм

5.6 Изучение характера повреждений

Характер повреждения поверхности образца после проведения испытаний показан на рисунке 5.6.

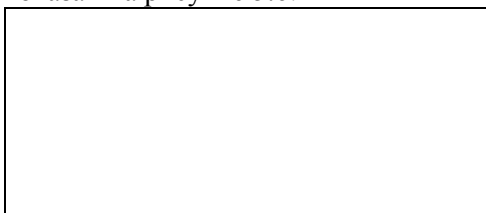


Рисунок 5.6 – _____

5.7 Выводы

Дата _____ Отметка о защите работы
(подпись преподавателя) _____

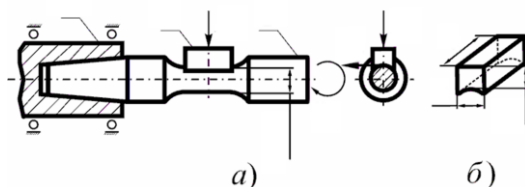
6 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ФРИКЦИОННОЙ УСТАЛОСТИ

6.1 Цель: экспериментально определить характеристики трения и изнашивания при ФУ.

6.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, объекты испытаний: пары трения (образцы и контролбразцы).

6.3 Схема испытаний на ФУ. Расчет фрикционных напряжений

Рисунок 6.1 – _____



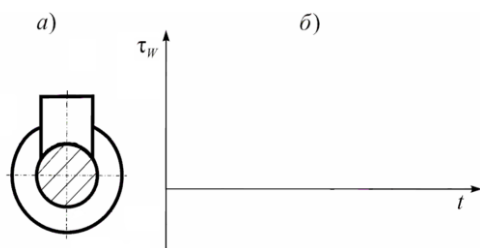


Рисунок 6.2 – _____

В процессе испытаний под действием контактной нагрузки F_N в зоне контакта образца с частичным вкладышем возникает контактное давление

$$\boxed{} \quad (6.1)$$

где _____

(6.2)

(6.3)

6.4. Кривая ФУ и ее параметры

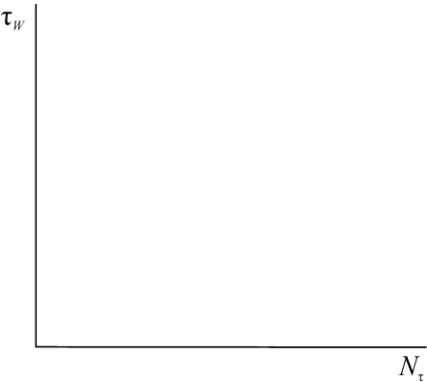


Рисунок 6.3 – _____

Уравнение кривой ФУ:

(6.4)

6.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

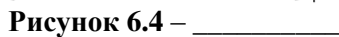


Рисунок 6.5 – _____

29

6.7 Изучение характера повреждений

Характер повреждения поверхности образца после проведения испытаний показан на рисунке 6.6.

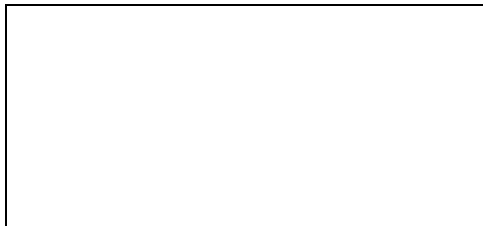


Рисунок 6.6 – _____

6.8 Выводы

Дата _____

Отметка о защите работы

(подпись преподавателя) _____

7 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ФРИКЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

7.1 Цель: экспериментально определить характеристики трения и изнашивания при ФМУ (обратный эффект).

7.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, объекты испытаний: трибофатические системы (образцы и контробразцы).

7.3 Схема испытаний на ФМУ

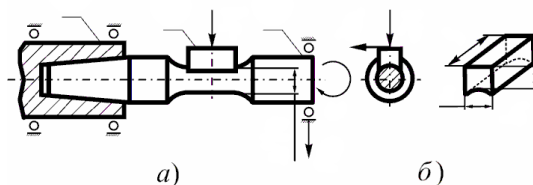


Рисунок 7.1 – _____

а)

б)

$\tau_{W,a}$

в)

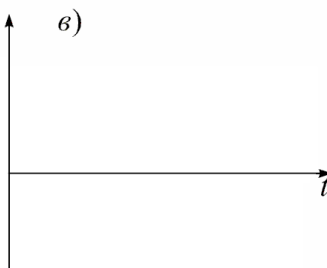


Рисунок 7.2 – _____

7.4 Кривые ФМУ и их параметры

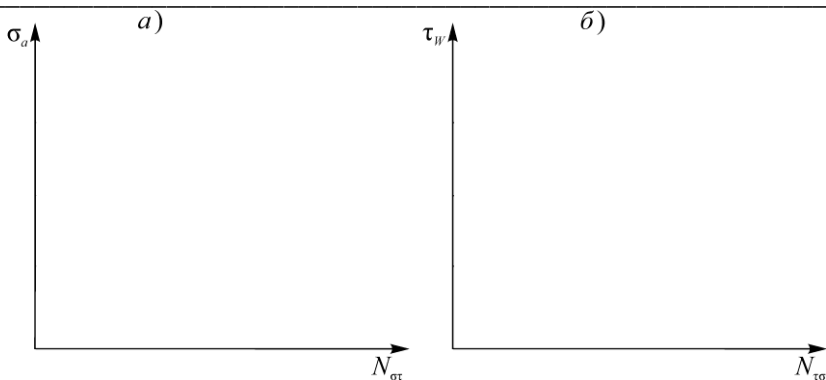


Рисунок 7.3 –

7.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

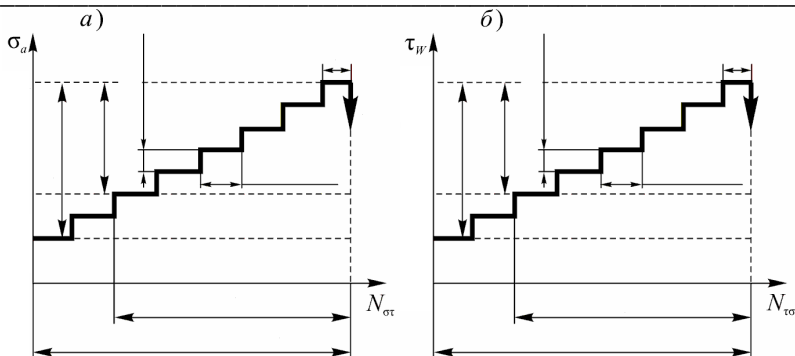


Рисунок 7.4 –

7.5 Экспериментальное определение характеристик трения и изнашивания при ФМУ (ОЭ)

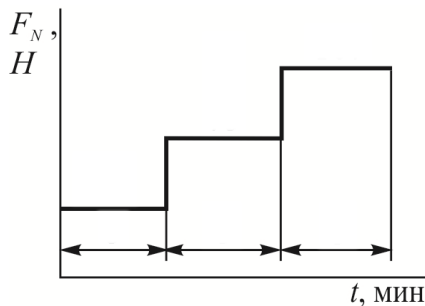


Рисунок 7.5 – _____

№ ступени	σ_a , МПа	F_N , Н	$N_{\Sigma\tau\sigma}$, цикл	$t_{\Sigma\tau\sigma}$, мин	i , мкм

7.6 Изучение характера повреждений

Характер повреждения поверхности образца и контрообразца после проведения испытаний показан на рисунке 7.6.

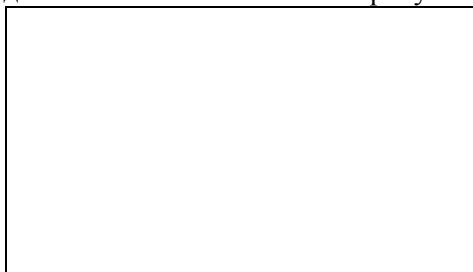


Рисунок 7.6 – _____

7.7 Выводы

Дата _____

Отметка о защите работы
 (подпись преподавателя) _____

8 ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ ОБРАЗЦОВ

8.1 Цель: провести исследование усталостных изломов лабораторных образцов.

8.2 Применяемые приборы и оборудование: испытательные машины серии СИ, разрушенные в процессе испытаний лабораторные образцы.

8.3 Важность изучения усталостных изломов

[illegible]

8.4 Изучение видов усталостных изломов

Классификация усталостных изломов в зависимости от схемы нагружения и уровня действующих напряжений в области многоциклового усталости дана в таблице.

Вид нагружения	Высокие номинальные напряжения		Низкие номинальные напряжения	
	Гладкий образец	Надрезанный образец	Гладкий образец	Надрезанный образец
Растяжение 				
Односторонний изгиб 				
Двухсторонний изгиб 				
Изгиб с вращением 				

8.4 Изучение характера усталостного излома

Для проведения лабораторной работы используются изломы образцов, испытанных в лабораторной работе №3. Характер излома металлического образца при его усталостном разрушении представлен на рисунке 8.1.

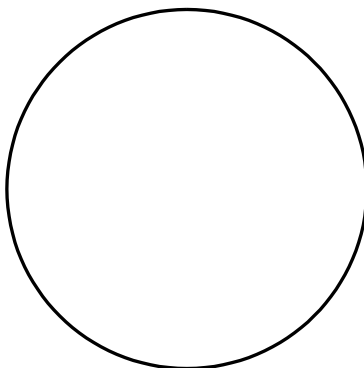


Рисунок 8.1 – _____

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

8.5 Выводы

Дата _____

Отметка о защите работы

(подпись преподавателя) _____

ПРИЛОЖЕНИЕ

Система обозначений основных характеристик

Характеристики свойств	Кривая МУ	Кривая КУ	Кривая ФУ	Кривые КМУ		Кривые ФМУ	
	$N(\sigma_a)$	$N(p_0)$	$N(\tau_w)$	$N(\sigma_a, p_0 = \text{const})$	$N(p_0, \sigma_a = \text{const})$	$N(\sigma_a, \tau_w = \text{const})$	$N(\tau_w, \sigma_a = \text{const})$
Предел выносливости, МПа	σ_{-1}	p_f	τ_f	σ_{-1p}	$p_{f\sigma}$	$\sigma_{-1\tau}$	$\tau_{f\sigma}$
Абсцисса точки перелома кривой усталости, цикл	$N_{G\sigma}$	N_{Gp}	$N_{G\tau}$	$N_{G\sigma p}$	$N_{Gp\sigma}$	$N_{G\sigma\tau}$	$N_{G\tau\sigma}$
Показатель наклона кривой усталости	m_σ	m_p	m_τ	$m_{\sigma p}$	$m_{p\sigma}$	$m_{\sigma\tau}$	$m_{\tau\sigma}$

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения и обозначения	2
Лабораторная работа № 1 «Машины серии СИ для износоусталостных испытаний: устройство и работа».....	3
Лабораторная работа № 2 «Информационно-управляющие системы машин серии СИ: принципы построения и работа».....	8
Лабораторная работа № 3 «Экспериментальное определение характеристик сопротивления механической усталости».....	13
Лабораторная работа № 4 «Экспериментальное определение характеристик сопротивления контактной усталости».....	18
Лабораторная работа № 5 «Экспериментальное определение характеристик сопротивления контактно-механической усталости»...	23
Лабораторная работа № 6 «Экспериментальное определение характеристик сопротивления фрикционной усталости».....	27
Лабораторная работа № 7 «Экспериментальное определение характеристик сопротивления фрикционно-механической усталости»...	31
Лабораторная работа № 8 «Исследование усталостных изломов образцов».....	35
Приложение	38