

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Мобильные и технологические комплексы»**

**С. А. Тюрин**

## **ОСНОВЫ ТРИБОФАТИКИ**

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

**для студентов специальности**

**1-36 12 01 «Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2024**

УДК 621.891+620.178.3(075.8)  
ББК 34.413я73  
Т98

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 20.12.2022 г.)*

Рецензент: генеральный конструктор Научно-технического центра комбайностроения  
ОАО «Гомсельмаш» *С. А. Федорович*

**Тюрин, С. А.**  
Т98 Основы трибофатики : рабочая тетрадь для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / С. А. Тюрин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 41 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрен порядок выполнения лабораторных работ по основным темам курса «Основы трибофатики».

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.891+620.178.3(075.8)  
ББК 34.413я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2024

# РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

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  
 $\sigma$  – номинальные напряжения, МПа  
 $\sigma_a$  – 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  
 $\tau_w$  – фрикционное напряжение, МПа  
 $N$  – долговечность, цикл  
 $N_B$  – база испытаний, цикл  
 $n$  – число циклов нагружения, цикл  
 $T$  – период цикла  
 $\omega$  – 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  
 $\alpha$  – угол наклона левой ветви кривой усталости к оси абсцисс, °  
 $\sigma_{-1}$  – 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

# Лабораторная работа № 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.

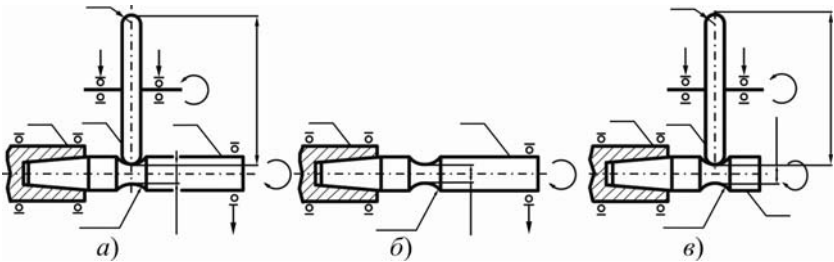


Рисунок 1.1 – \_\_\_\_\_

---

---

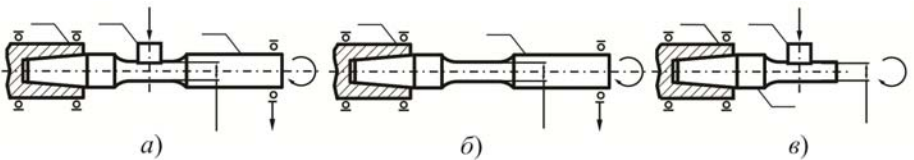


Рисунок 1.2 – \_\_\_\_\_

---

---





---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 1.7 Общий вид одной из машин

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



Рисунок 1.4 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 1.8 Конструктивные особенности

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## Лабораторная работа № 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.

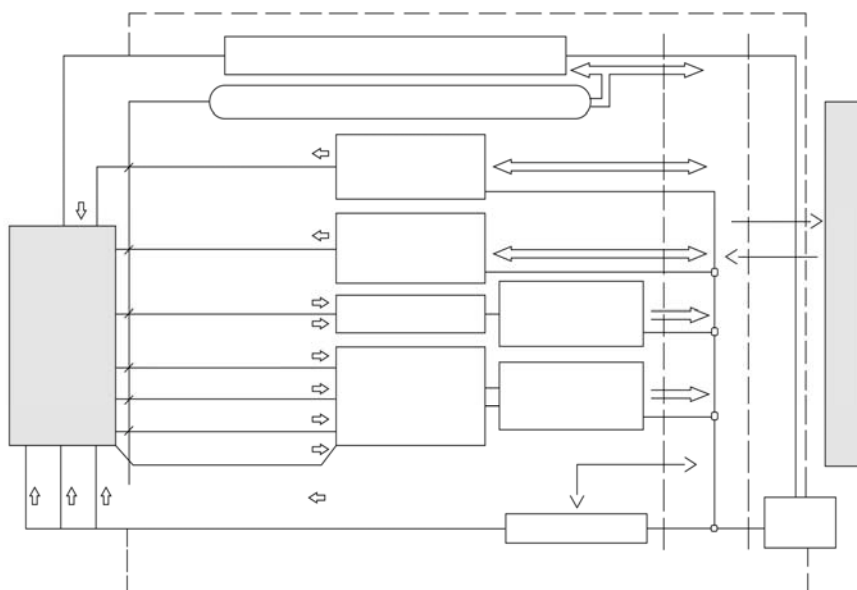


Рисунок 2.1 –

---

---

---





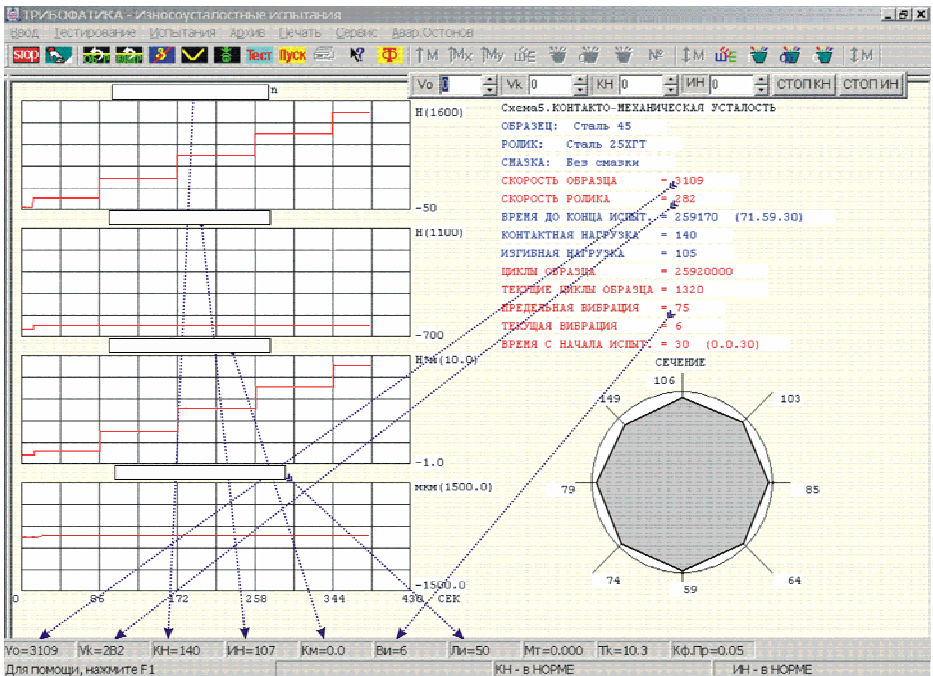


Рисунок 2.3 –

## 2.7 Выводы

---

---

---

---

---

---

Дата \_\_\_\_\_

Отметка о защите работы  
(подпись преподавателя) \_\_\_\_\_

# Лабораторная работа № 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**

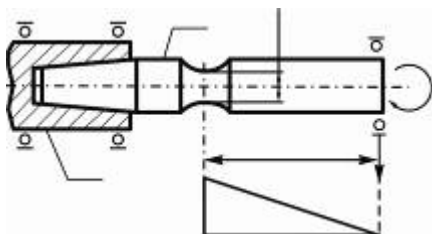


Рисунок 3.1 – \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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  $M =$  \_\_\_\_\_

$W =$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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

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





### 3.6 Обработка результатов испытаний методом наименьших квадратов

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

№ образца	$\sigma_a$ , 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						
$\Sigma$						
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:



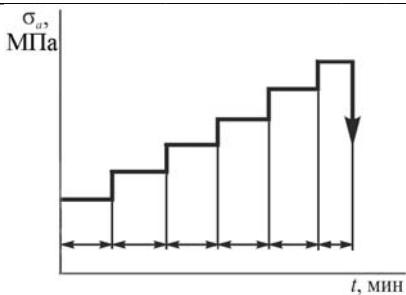


Рисунок 3.5 – \_\_\_\_\_

Характеристика свойств	Обозначение	Численное значение

### 3.9 Выводы

---



---



---



---



---



---



---

Дата \_\_\_\_\_ Отметка о защите работы  
(подпись преподавателя) \_\_\_\_\_

# Лабораторная работа № 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 контрообразцы).

**4.3 Схема испытаний на КУ. Расчет контактных напряжений**

Рисунок 4.1 – \_\_\_\_\_

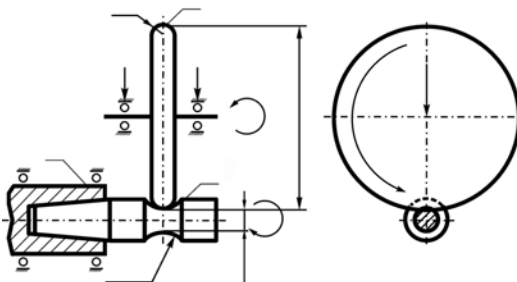
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

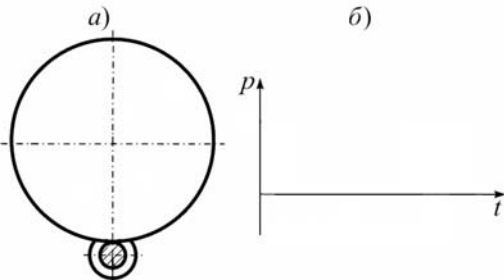


Рисунок 4.2 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

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





#### 4.6 Экспериментальное определение характеристик трения и изнашивания при КУ

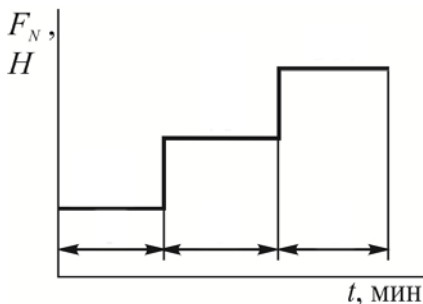


Рисунок 4.6 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

#### 4.7 Изучение характера повреждений

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

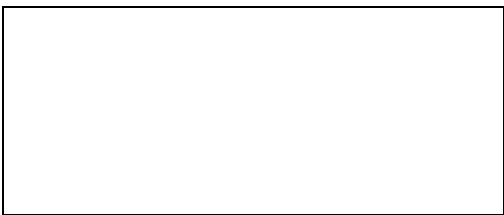


Рисунок 4.7 – \_\_\_\_\_

## 4.8 Выводы

---

---

---

---

---

Дата \_\_\_\_\_

Отметка о защите работы  
(подпись преподавателя) \_\_\_\_\_



## Лабораторная работа № 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 контрообразцы).

### 5.3 Схема испытаний на КМУ

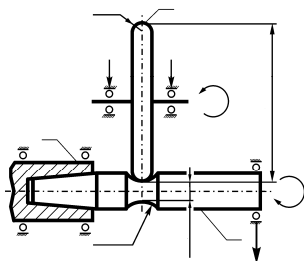


Рисунок 5.1 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

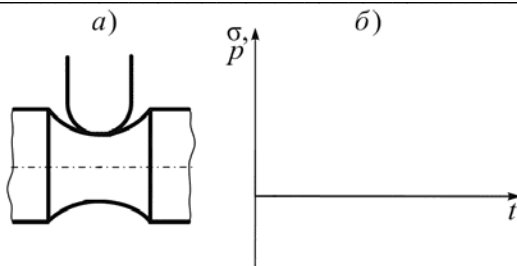


Рисунок 5.2 – \_\_\_\_\_

---

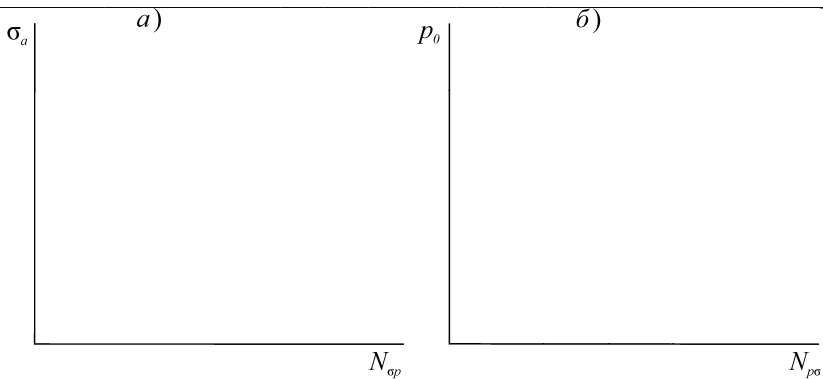
### 5.4 Кривые КМУ и их параметры

---

---

---

---



**Рисунок 5.3** – \_\_\_\_\_

## **5.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения**



---

---

---

---

---

---

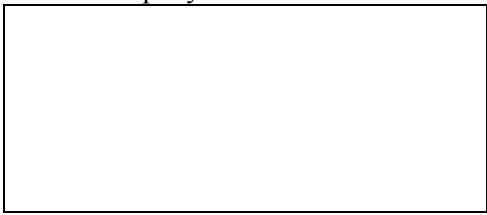
---

---

№ ступени	$\sigma_a$ , МПа	$F_N$ , Н	$p_0$ , МПа	$N_{\Sigma p \sigma}$ ЦИКЛ	$t_{\Sigma p \sigma}$ , мин	$\delta_c$ , 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) \_\_\_\_\_

# Лабораторная работа № 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 – \_\_\_\_\_

---

---

---

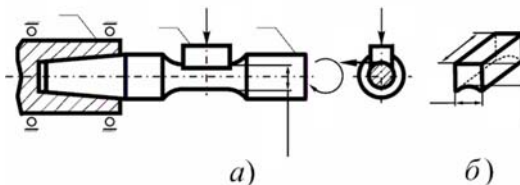
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

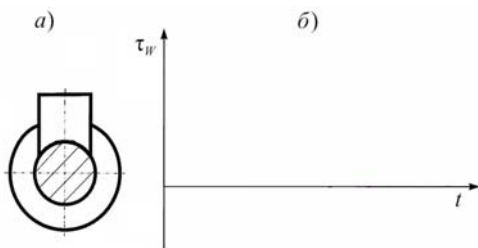


Рисунок 6.2 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

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

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

где \_\_\_\_\_

---

---

---



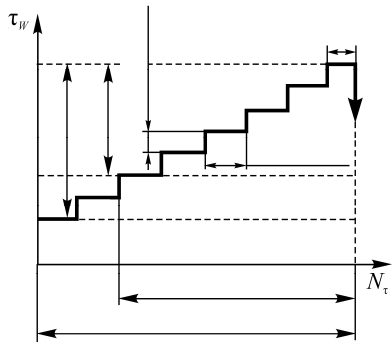


Рисунок 6.4 – \_\_\_\_\_

### 6.6 Экспериментальное определение характеристик трения и изнашивания при ФУ

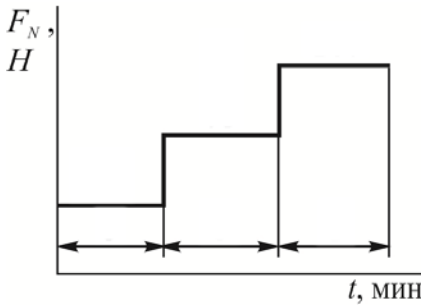


Рисунок 6.5 – \_\_\_\_\_

№ ступени	$F_N, \text{Н}$	$N_{\Sigma\tau}, \text{ЦИКЛ}$	$t_{\Sigma\tau}, \text{МИН}$	$i, \text{МКМ}$

## 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) \_\_\_\_\_



# Лабораторная работа № 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 контрообразцы).

## 7.3 Схема испытаний на ФМУ

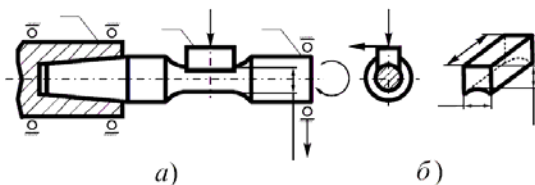


Рисунок 7.1 – \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

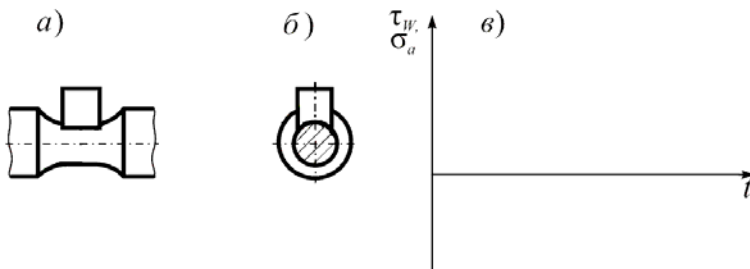


Рисунок 7.2 – \_\_\_\_\_

## 7.4 Кривые ФМУ и их параметры

---

---

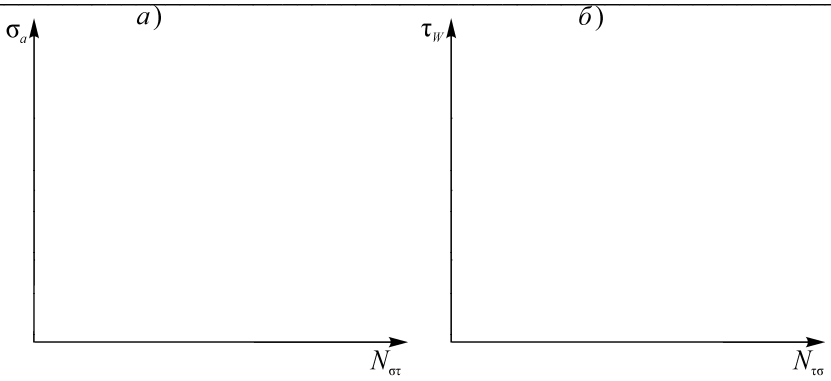


Рисунок 7.3 – \_\_\_\_\_

### 7.5 Ускоренный метод многоступенчатого нагружения

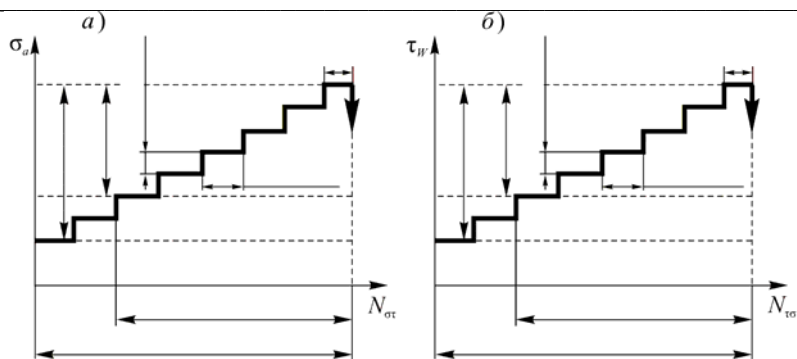


Рисунок 7.4 –

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



## Лабораторная работа № 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

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### 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 				



## 8.5 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	$\sigma_{-1}$	$p_f$	$\tau_f$	$\sigma_{-1p}$	$p_{f\sigma}$	$\sigma_{-1\tau}$	$\tau_{f\sigma}$
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	$m_\sigma$	$m_p$	$m_\tau$	$m_{\sigma p}$	$m_{p\sigma}$	$m_{\sigma\tau}$	$m_{\tau\sigma}$



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Сокращения и обозначения</b> .....	4
<b>Лабораторная работа № 1</b> «Машины серии СИ для износоустойчивых испытаний: устройство и работа».....	5
<b>Лабораторная работа № 2</b> «Информационно-управляющие системы машин серии СИ: принципы построения и работа».....	10
<b>Лабораторная работа № 3</b> «Экспериментальное определение характеристик сопротивления механической усталости».....	15
<b>Лабораторная работа № 4</b> «Экспериментальное определение характеристик сопротивления контактной усталости».....	20
<b>Лабораторная работа № 5</b> «Экспериментальное определение характеристик сопротивления контактно-механической усталости»...	25
<b>Лабораторная работа № 6</b> «Экспериментальное определение характеристик сопротивления фрикционной усталости».....	29
<b>Лабораторная работа № 7</b> «Экспериментальное определение характеристик сопротивления фрикционно-механической усталости»...	33
<b>Лабораторная работа № 8</b> «Исследование усталостных изломов образцов».....	37
<b>Приложение</b> .....	40

**Тюрин Сергей Александрович**

## **ОСНОВЫ ТРИБОФАТИКИ**

**Рабочая тетрадь  
для студентов специальности  
1-36 12 01 «Проектирование и производство  
сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 06 .02.24.

Рег. № 85Е.  
<http://www.gstu.by>