

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

Кафедра теоретической и прикладной механики

**Выпускная квалификационная работа на тему:
«Определение эффективных модулей упругости
объемной тканой структуры»**

Выполнила: студентка гр. 4-33, Сорокина А.В.

Руководитель: доцент, Пирогов Д.А.

Цель работы

Провести анализ напряженно-деформированного состояния объемной тканой структуры с целью определения ее эффективных модулей упругости при растяжении и изгибе.

Задачи

1. Построить диаграмму деформирования по справочным механическим характеристикам материала. Определить остаточные напряжения в нити утка, возникающие после формирования тканого переплетения (растяжения металлической нити);
2. Определить коэффициенты жесткости элементарной ячейки объемного тканого элемента в направлениях нити основы и утка;
3. Определить эффективные модули упругости объемной тканой структуры.

Исследуемый объект

Ткань - текстильное изделие, изготовленное на ткацком станке переплетением взаимно перпендикулярных систем нитей.

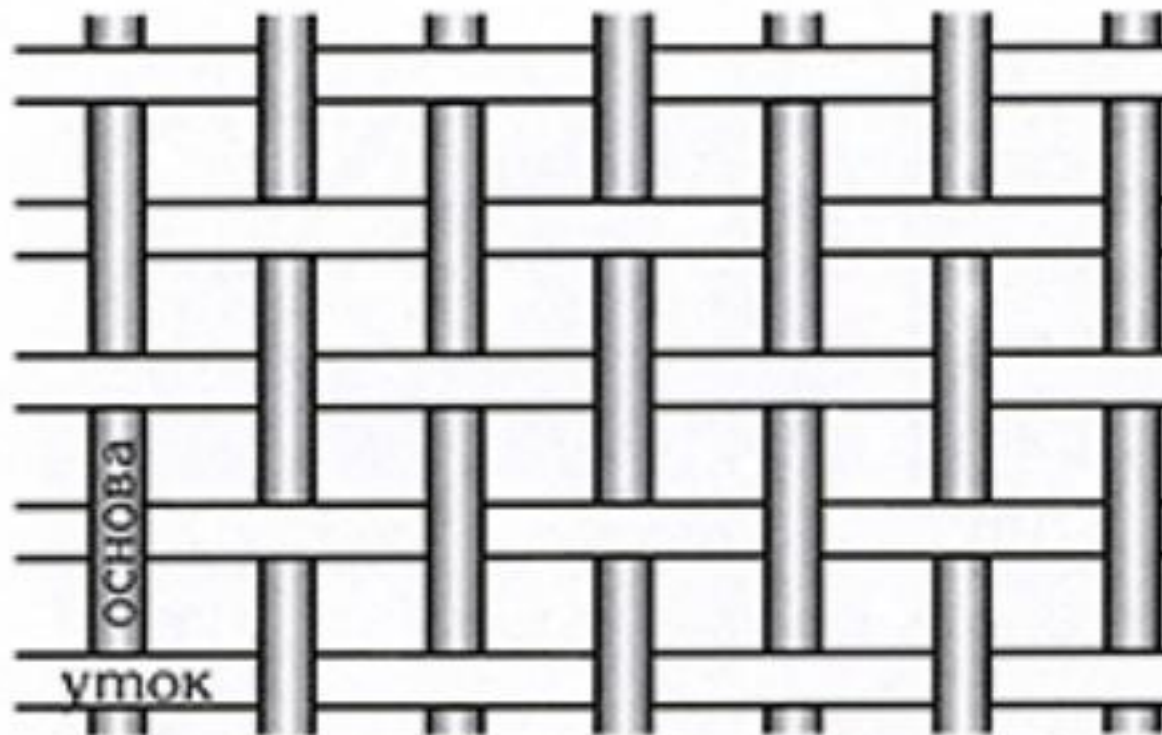


Рисунок 1. Строение тканой структуры

Механические свойства материалов

Таблица 1. Механические свойства материалов

Наименование материала	Модуль упругости E, Па	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное поперечное сужение, %
Сталь 0	2e11	240	580	70	80
Алюминий AD1	71e10	-	80	-	80

Построение диаграммы деформирования

- При $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_T \rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon;$
- При $\varepsilon > \varepsilon_T \rightarrow \sigma = \sigma_T + E_T \frac{\varepsilon}{(1 - 2\mu)};$

$$E_T = \frac{\sigma_B - \sigma_T}{\varepsilon_B - \varepsilon_T} \quad \text{- Модуль упрочнения при растяжении;}$$

Диаграмма деформирования металлической нити

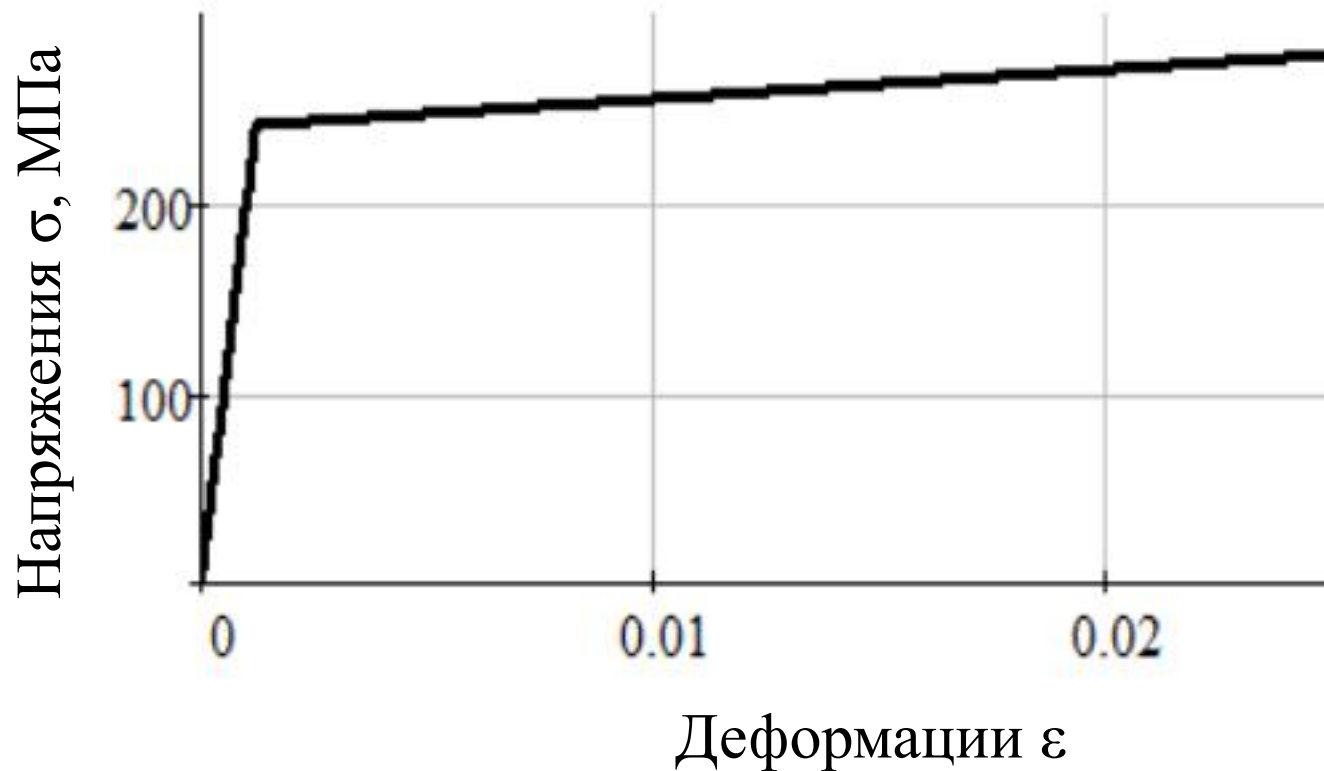
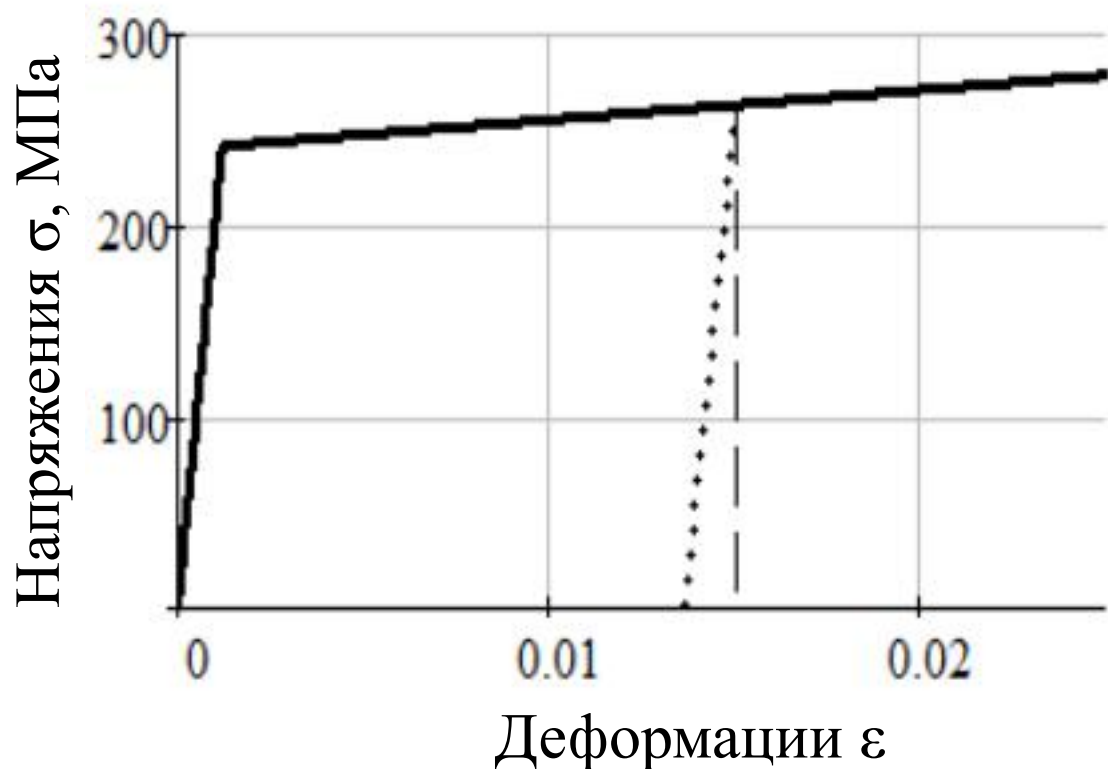


Рисунок 2. Диаграмма деформирования для материала Сталь0

Определение напряжений в металлической нити



$$\sigma_{\text{общ}} = \sigma_T + E_T \frac{\epsilon_{\text{общ}}}{(1 - 2\mu)};$$

$$\epsilon_{\text{пласт}} = \epsilon_{\text{общ}} - \left(\frac{\sigma_{\text{общ}}}{E} \right);$$

$$\epsilon_{\text{упр}} = \epsilon_{\text{общ}} - \epsilon_{\text{пласт}};$$

$$\sigma_{\text{упр}} = E \cdot \frac{\epsilon_{\text{упр}}}{(1 - 2\mu)}.$$

Рисунок 3. Диаграмма растяжения, разгрузки и вторичного растяжения

Математическое моделирование нитей основы и утка в объемной тканой структуре

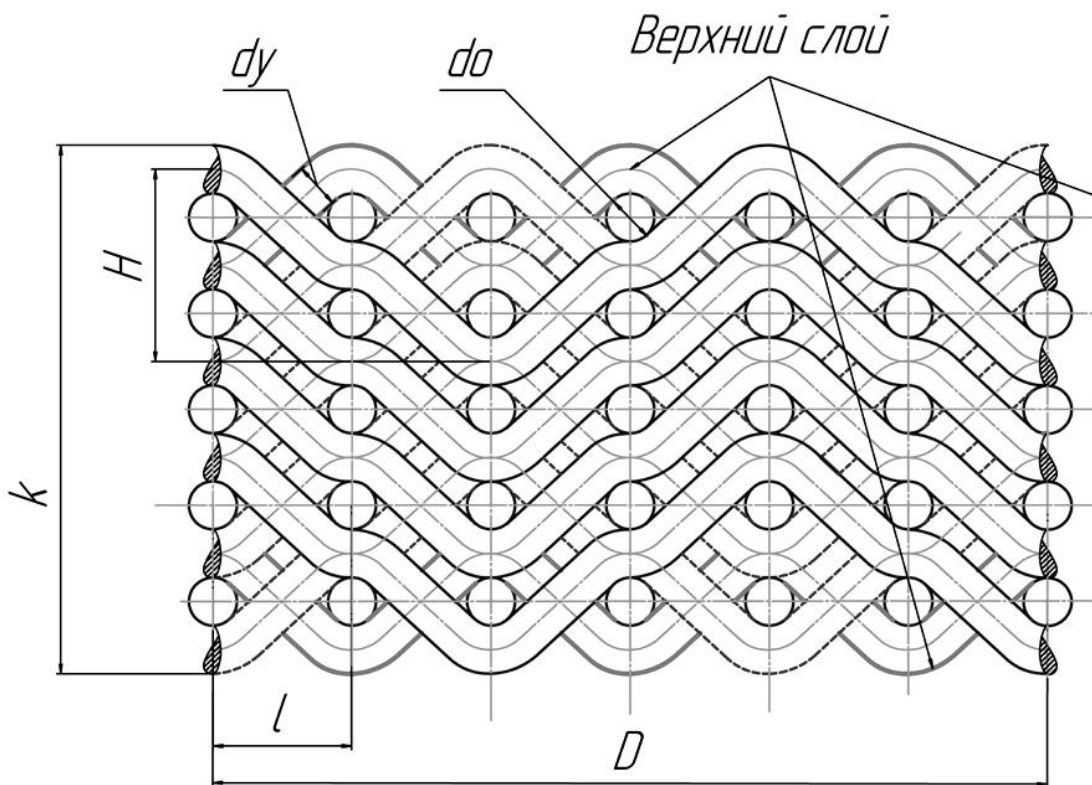


Рисунок 4. Многослойная тканая структура

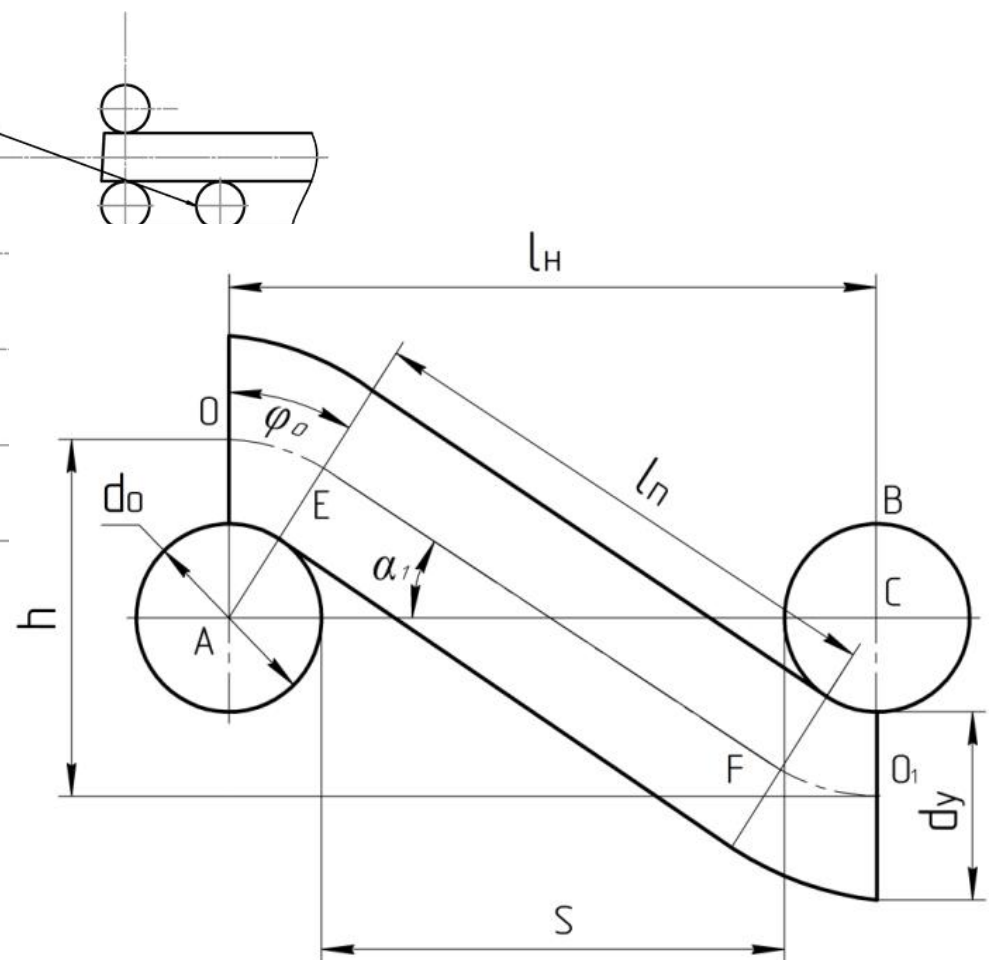


Рисунок 5. Геометрия элемента
многослойной тканой структуры

Математическое моделирование нитей основы и утка в объемной тканой структуре

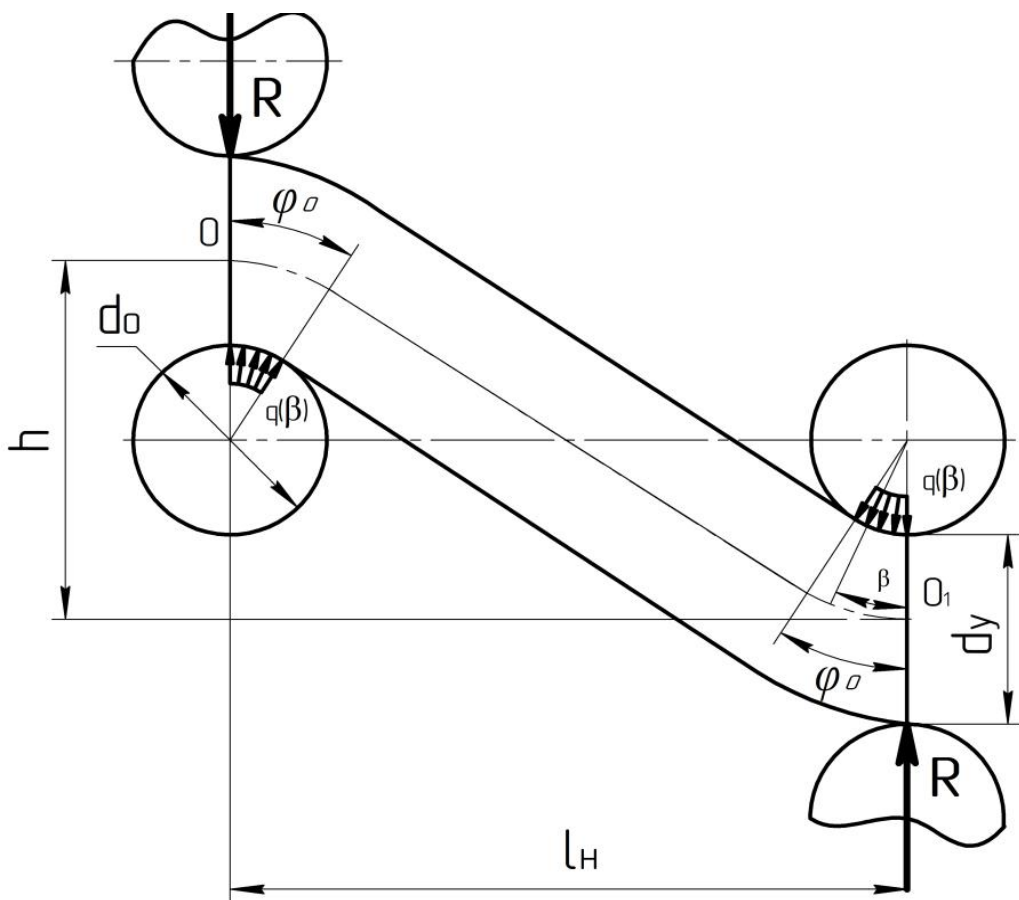


Рисунок 6. Элемент геометрического строения тканой структуры в разрезе

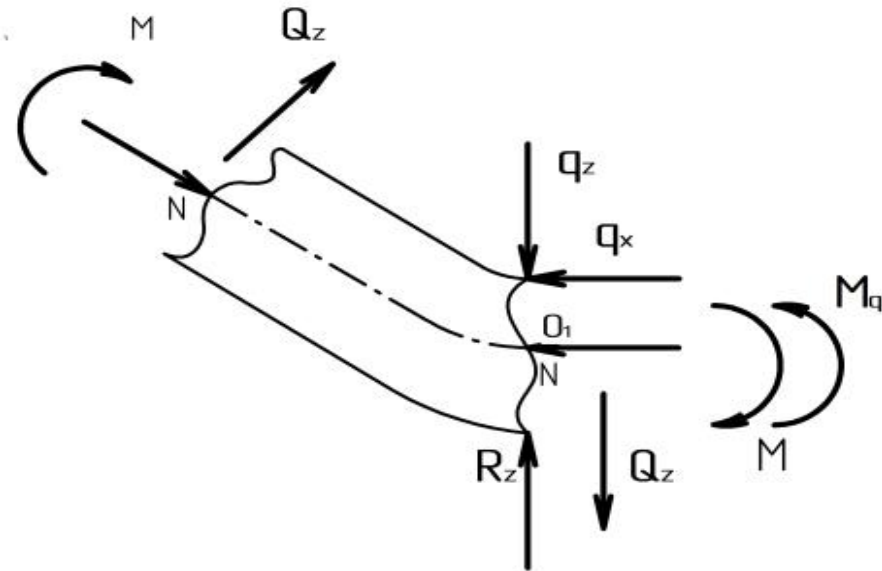


Рисунок 7. Статика элемента деформированной уточины

Определение физико-механических характеристик объемного тканого элемента

- При растяжении - сжатии

$$c_p = \frac{dP}{dL}$$

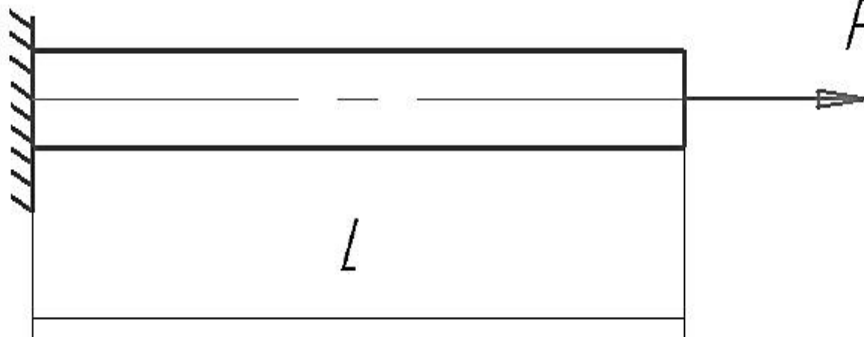


Рисунок 8. Расчетная схема нити основы при растяжении-сжатии

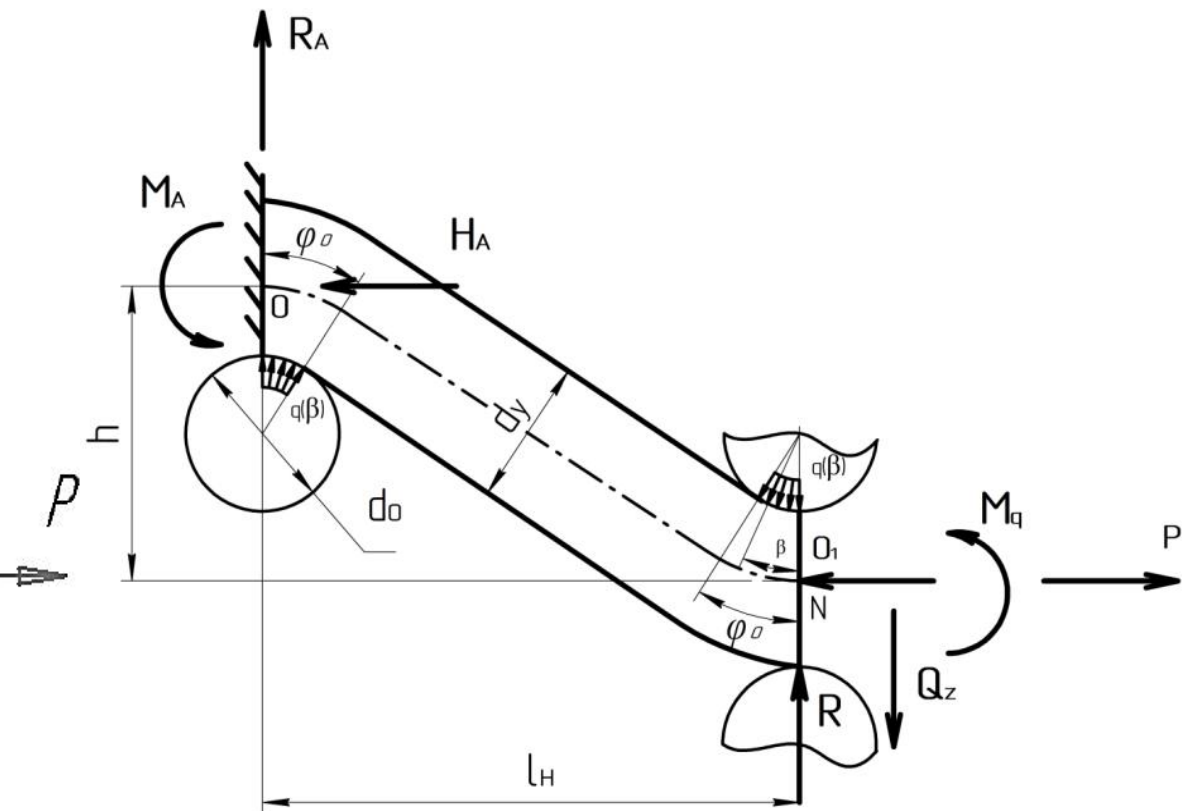


Рисунок 9. Расчетная схема нити утка при растяжении-сжатии

Определение физико-механических характеристик объемного тканого элемента

- При изгибе

$$c_m = \frac{dM}{\chi}$$

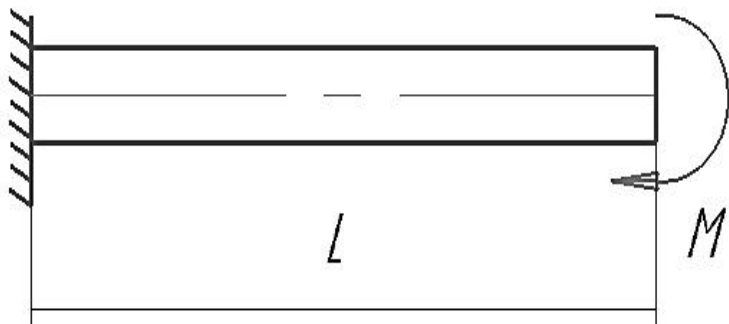


Рисунок 10. Расчетная схема нити основы при изгибе

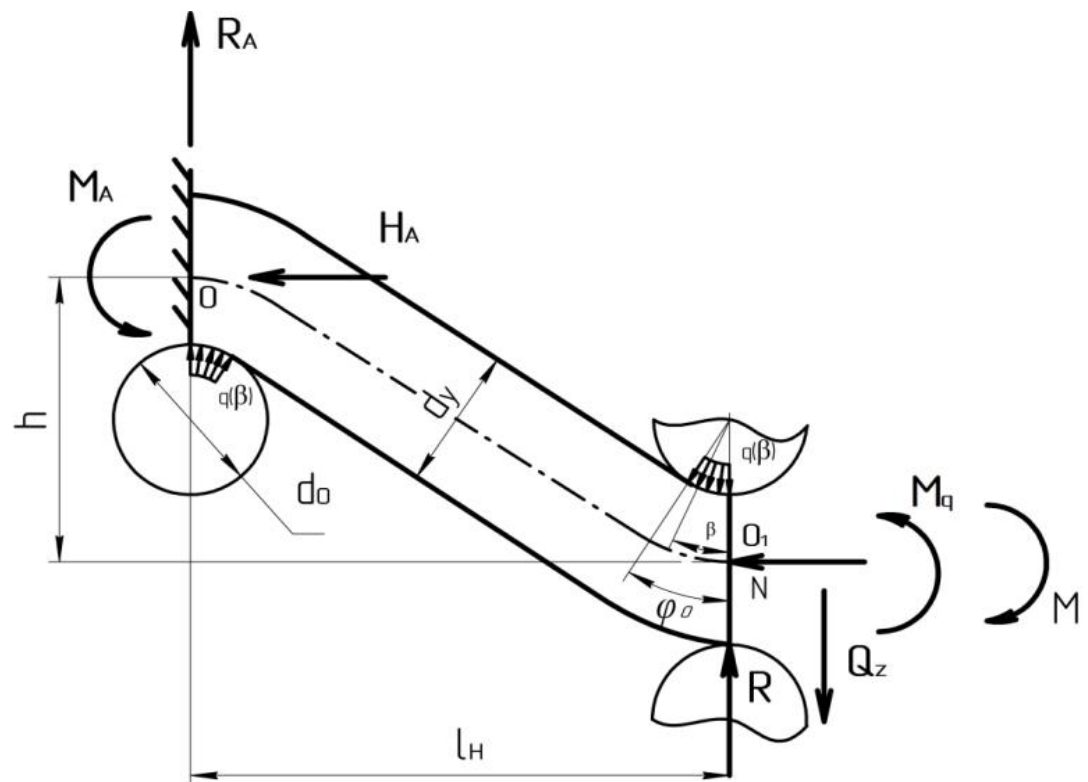


Рисунок 11. Расчетная схема нити утка при изгибе

Анализ влияния геометрических параметров объемного тканого элемента на его упругие свойства

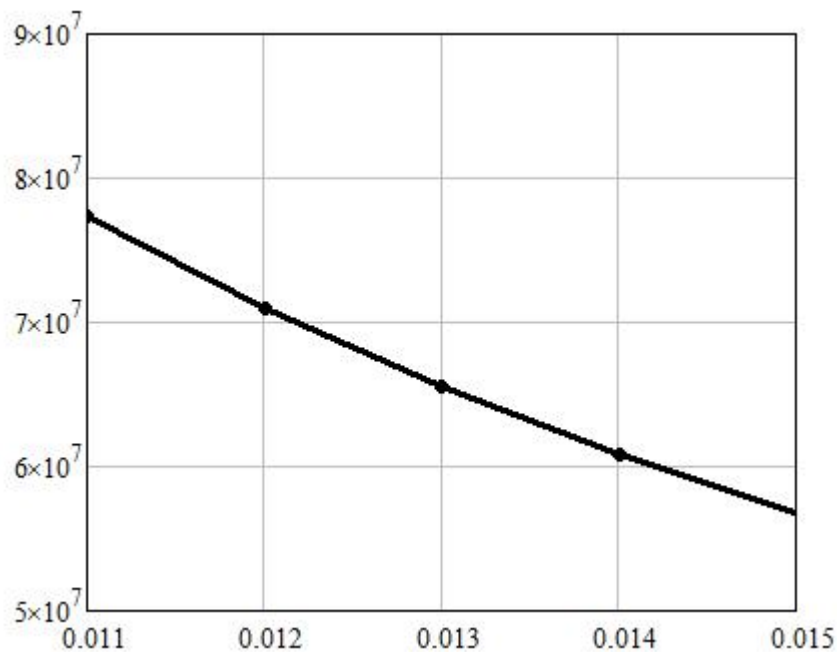


Рисунок 12. График зависимости жесткости ячейки в направлении нитей основы при растяжении от размера ячейки

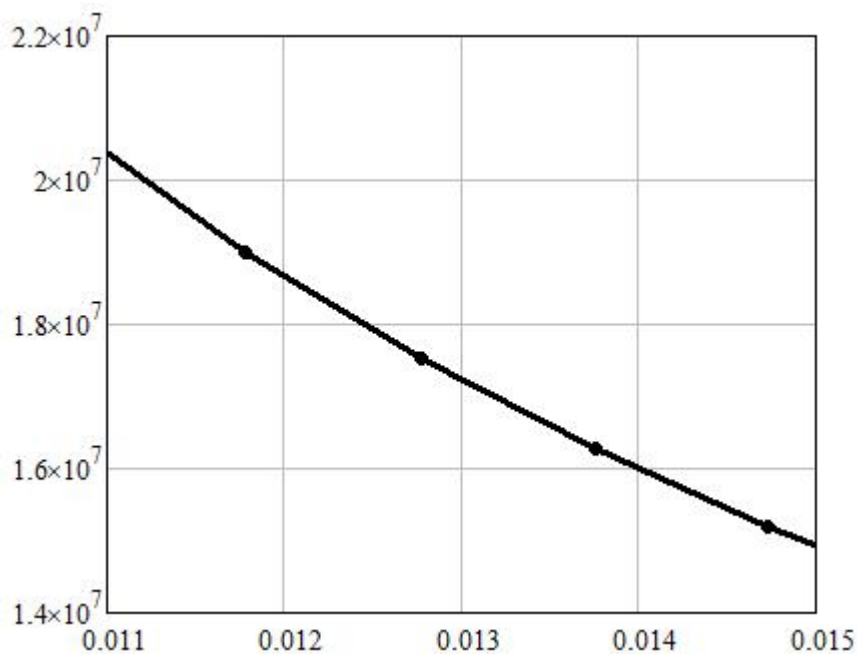


Рисунок 13. График зависимости жесткости ячейки в направлении нитей утка при растяжении от размера ячейки

Определение эффективных модулей упругости

- На основе коэффициентов жесткости

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

← При растяжении

→ При изгибе

$$d\sigma = \frac{dN}{F}; d\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

$$E = c_p \cdot \frac{L}{F}$$

$$d\sigma = \frac{dM \cdot y}{I}; d\varepsilon = \frac{y}{\rho}$$

$$E = \frac{c_m}{I}$$

Определение эффективных модулей упругости

- На основе объемного содержания волокон

$\psi = \frac{r}{L}$ - Относительное объёмное содержание волокон

$$\sigma_{11} \cdot L \cdot h = \sigma_1 \cdot F + \sigma_2 \cdot F \rightarrow \sigma_{11} = \frac{\sigma_1 \cdot F + \sigma_2 \cdot F}{L \cdot h}$$

$$\sigma_{11} = (E_1 \cdot \psi + E_2 \cdot \psi) \cdot \varepsilon$$

$$E = E_1 \cdot \psi + E_2 \cdot \psi$$

Сравнительный анализ полученных результатов

Таблица 2. Эффективные модули упругости на основе коэффициентов жесткости при растяжении

Тип нити	Сталь 0 – Сталь 0	Сталь 0 – Алюминий AD1	Алюминий AD1 – Алюминий AD1
Основа	4e11	2.71e11	1.42e11
Уток	4.61e8	7.12e10	1.42e11

Таблица 3. Эффективные модули упругости на основе коэффициентов жесткости при изгибе

Тип нити	Сталь 0 – Сталь 0	Сталь 0 – Алюминий AD1	Алюминий AD1 – Алюминий AD1
Основа	4e11	2.74e11	1.65e11
Уток	6.95e8	3.1e10	1.53e11

Таблица 4. Эффективные модули упругости на основе объемного содержания волокон

Тип нити	Сталь 0 – Сталь 0	Сталь 0 – Алюминий AD1	Алюминий AD1 – Алюминий AD1
Основа	4e11	2.71e10	1.42e10
Уток	3.71e10	2.52e10	1.32e10

Заключение

1. При формировании тканого плетения нити утка претерпевают пластические деформации. В ходе построения диаграммы деформирования по справочным механическим характеристикам материала, определены значения упругих напряжений, которые остаются после разгрузки;
2. Определены коэффициенты жесткости элементарной ячейки объемного тканого элемента в направлениях нити основы и утка. В результате расчетов выявлено, что при увеличении размеров ячейки коэффициенты жесткости уменьшаются;
3. Определены эффективные модули упругости элементарной ячейки объемного тканого элемента в направлениях основы и утка по двум методикам:
 - на основе коэффициентов жесткости;
 - на основе объемного содержания волокон.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

Кафедра теоретической и прикладной механики

**Выпускная квалификационная работа на тему:
«Определение эффективных модулей упругости
объемной тканой структуры»**

Выполнила: студентка гр. 4-33, Сорокина А.В.

Руководитель: доцент, Пирогов Д.А.