Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт прикладной математики и механики

Работа допущена к защите

Заведующий кафедрой

«Теоретическая механика»

_____ Кривцов А.М.

«___»_____20__ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ АУКСЕТИКОВ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование»
по образовательной программе 01.04.03_03
«Механика и цифровое производство»

Выполнил
студент гр.23642/2 О.С. Ромащенко

Руководитель
к.ф.-м.н., доцент кафедры
«Теоретическая механика»
СПбПУ М.Б. Бабенков

Консультант
по нормоконтролю О.С. Лобода

Санкт-Петербург

2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Литературный обзор 7

Глава 1. Расчет коэффициента Пуассона 10

1.1. Расчёт коэффициента Пуассона при продольных деформациях 10

1.2. Расчёт коэффициент Пуассона при поперечных деформациях 17

Глава 2. Определение модуля жесткости с помощью теории стержней 23

Заключение 31

Список использованных источников 33

Приложение 1. Охрана труда 35

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы: материалы с ауксетическими свойствами используются для создания и проектирования современных интеллектуальных фильтров, датчиков, медицинских устройств и средств защиты.

Цель работы:

Создать модель двумерного материала, обладающего ауксетическими свойствами.

Задачи работы:

- Определить значения коэффициента Пуассона μ в зависимости от продольных ε_x и поперечных деформаций ε_y для материала , обладающего ауксетическими свойствами;
- Найти соотношение для определения коэффициента жесткости при продольных ε_x ;
- Определить деформируемое состояние решетки, возникающее после приложения силы в направлении оси *x* к ячейке периодичности;

Практическая значимость: создание полезных моделей на основе материалов, обладающих ауксетическими свойствами. Разработанные модели могут применяться для проектирования материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Структура выпускной квалификационной работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, обзора литературы, двух глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Промежуточные выводы по главам даются в конце глав и в заключении. Работа содержит 12 иллюстраций. Объем выпускной квалификационной работы 48 страниц.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации

В **обзоре литературы** рассматриваются статьи, связанные с тематикой выпускной квалификационной работы.

В **первой главе** проводится расчет коэффициента Пуассона при продольных и поперечных деформациях. Получены значения коэффициента Пуассона при малых и больших продольных и поперечных деформациях.

Во **второй главе** проведены расчеты для определения модуля жесткости при помощи теории стержней. Найдено уравнение для определения отсчетной конфигурации. Рассчитаны углы поворота, перемещение и коэффициент жесткости. Найдено деформируемое состояние решетки, которое возникает после приложения силы.

Заключение содержит перечень основных результатов и выводы

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Одним из важных механических свойств материалов является коэффициент Пуассона, который положителен для большинства материалов. Однако, некоторые материалы проявляют «ауксетические» свойства; то есть они имеют отрицательный коэффициент Пуассона. Таким образом, ауксетические и неауксетические материалы проявляют различные механизмы деформации. Специфическая микроскопическая структура в ауксетических материалах важна для возниконовения отрицательного коэффициента Пуассона. Из-за их особой структуры, ауксетические материалы в отличие от других материалов обладают определенными уникальными свойствами [5].

Материалы и структуры с отрицательным коэффициентом Пуассона демонстрируют противоречивое поведение. Под одноосным сжатием (растяжение), эти материалы и структуры сжимаются (расширяются) поперек (рис.1.1). Материалы и структуры, которые обладают этой особенностью, также называются «ауксетиками», в результате этого необычного поведения проявляются многие полезные свойства. Материалы с ауксетическими свойствами используются для различных прикладных целей [9].

Считается, что слово «ауксетик» было придумано профессором Кеном Эвансом из Университета Эксайтера и было опубликовано в статье в Nature в 1991 году. Само слово далеко не новое. В физиологии растений ауксетические вещества интенфицируют клеточный рост без клеточного деления; термином ауксин также называется растительный гормон. Все эти термины связаны с греческим словом, означающим «увеличение; расти» [13].

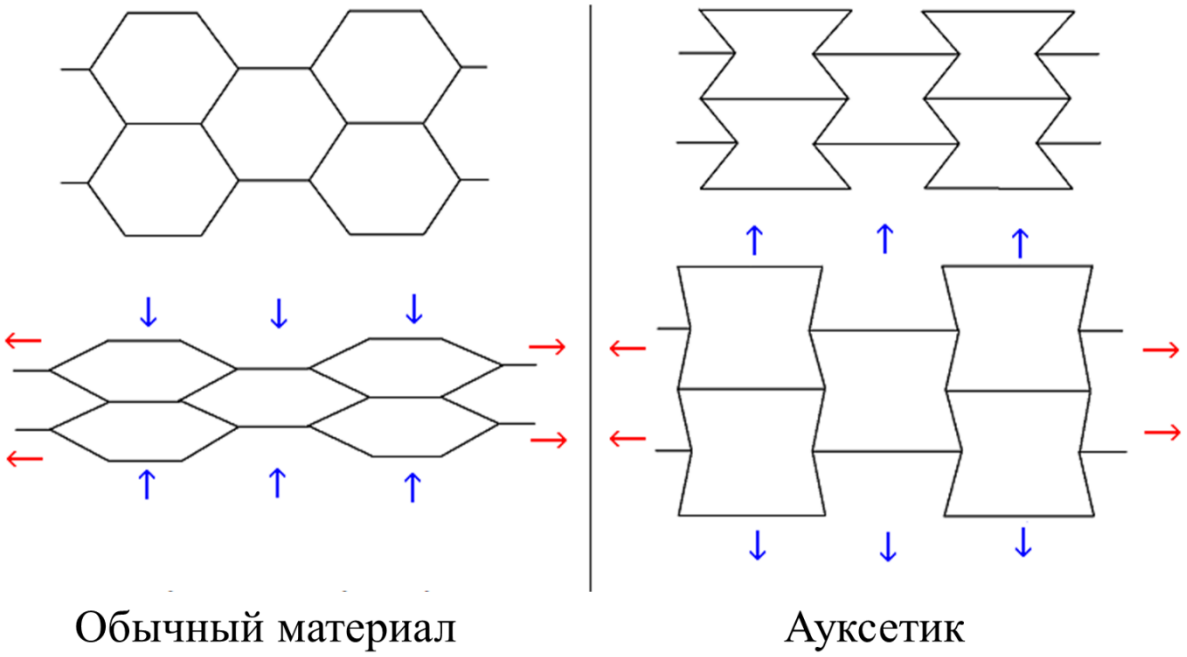

Рисунок 1.1 Решетка/структура материала, проявляющая ауксетические свойства

Примеры ауксетиков: некоторые горные породы и минералы, живые костные ткани, определенные виды полимеров, некоторые кристаллы (например, Ga_2O_3), бумага.

В настоящее время известно много работ, посвященных материалам с ауксетичной структурой. Так в работе Д. Лисовенко и др. [3], в одной из статей рассмотрено, что эффективные упругие свойства 3-слоистые пластины, состоящие из ауксетических и неауксетических кубических кристаллов, исследуются на основе режимов растяжения и изгиба. Во многих случаях эффективный модуль Юнга выше модуля Юнга самого жесткого слоя с достаточно толстыми ауксетическими слоями. При растяжении трехслойные композитных пластин демонстрируют положительный коэффициент Пуассона в плоскости. Эффективные модули Юнга могут превосходить исходные модули Юнга всех трех слоев таких композиционных материалов. В дополнение к известному коэффициенту Пуассона при растяжении вводится понятие коэффициента Пуассона при чистом изгибе.

Тем же автором в работе [4] изучена изменчивость упругих характеристик (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) гексагональных кристаллов. Получены аналитические выражения для модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Найдены стационарные значения этих упругих характеристик. Модуль Юнга имеет три стационарных значения, а коэффициент Пуассона имеет восемь стационарных значений. Найдены глобальные экстремумы модуля Юнга и коэффициент Пуассона для гексагональных кристаллов. Найдены кристаллы, в которых максимальные значения превышают верхний предел для изотропных материалов.

В работе И.Беринского [1] было показано, что для всех рассмотренных решеток компоненты эффективных тензоров упругости могут быть получены явным образом в рамках одного и того же подхода, принимая во внимание растяжение, изгиб и сдвиг ребер. В результате эквивалентные упругие плоские свойства были найдены аналитически как функции геометрических параметров решеток и упругих параметров ребер. Было исследовано, как условие постоянной плотности влияет на зависимость упругих постоянных от углов в узлах. Также были исследованы различные решетки той же плотности, что и шестигранная решетка. Рассмотрены наиболее типичные случаи с практической точки зрения и рассчитаны соответствующие им упругие параметры.

ГЛАВА 1. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА

В данной главе произведен расчет коэффициента Пуассона для абсолютно жесткой решетки с шарнирами в узлах при малых и больших деформациях, как продольных, так и поперечных. Выделена ячейка периодичности, определены ее геометрические параметры.

1.1. Расчёт коэффициента Пуассона при продольных деформациях

Коэффициент Пуассона определяется соотношением:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}; \tag{1.1}$$

Где ε_x и ε_y — соответственное упругие деформации в направлении нагружения *x* и поперечном направлении *y*.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta a}{d_0} \tag{1.2}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta h}{h_0} \tag{1.3}$$

В начале расчётов выделим из решетки (рис.1.1) ячейку периодичности (рис.1.2) для удобства вычислений.

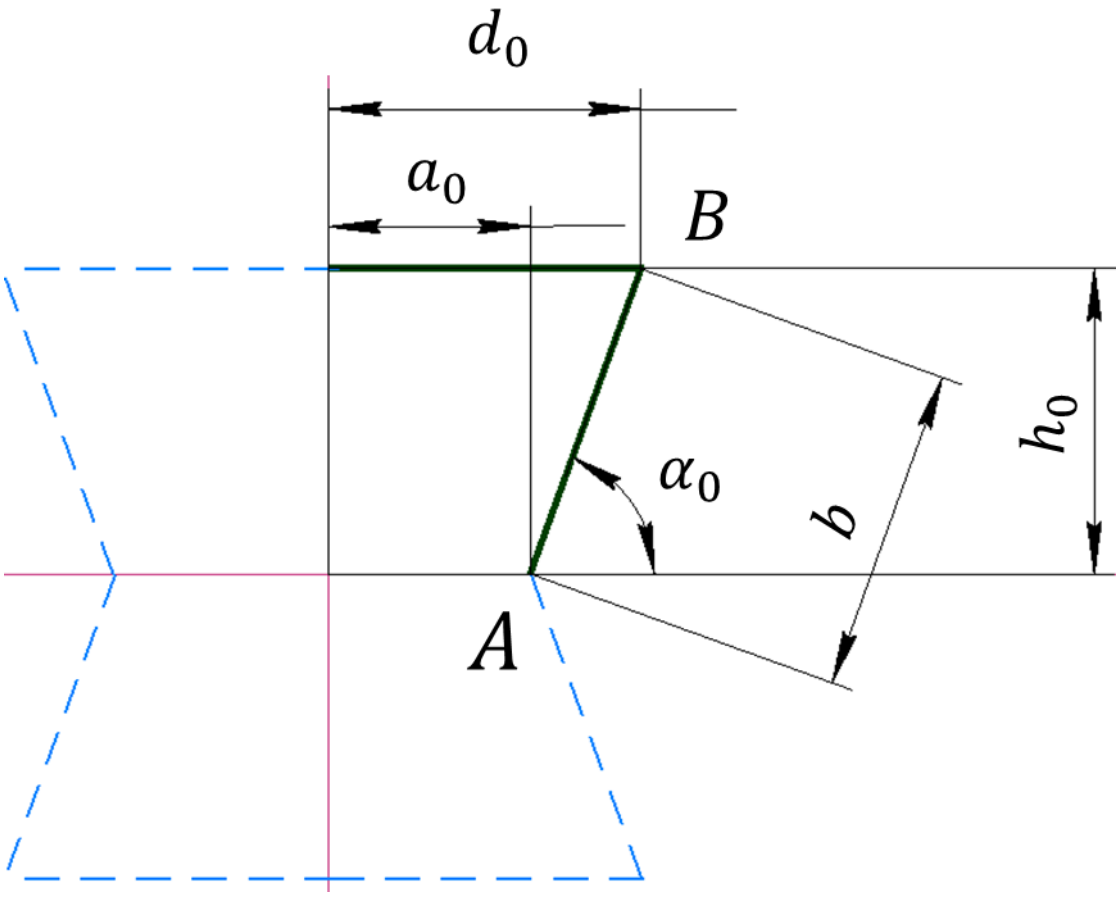

Рисунок 1.2 Отсчетная конфигурация ячейки периодичности (показана сплошной линией)

Где d_0— ширина ячейки периодичности, h_0 — высота ячейки периодичности, a_0 — длина наименьшего основания трапеции, b — длина стороны АВ, α_0 — угол между стороной b и продолжением стороны a_0.

При продольном растяжении точку А перемещается вдоль оси x, в связи с этим точка В сдвигается вверх.d_0, b, α_0— геометрические параметры, которые определяют начальную конфигурацию и задают свойства решетки, все величины должны вычисляться через них.

Выразим величины, необходимые для вычисления коэффициента Пуассона через геометрические параметры:

$$\Delta a = bCos[\alpha_0] - bCos[\alpha_0 + \alpha_1] \quad (1.4)$$

$$a_0 = d_0 - bCos[\alpha_0] \quad (1.5)$$

$$\Delta h = bSin[\alpha_0 + \alpha_1] - bSin[\alpha_0] \quad (1.6)$$

$$h_0 = bSin[\alpha_0] \quad (1.7)$$

Подставив формулы (1.4)–(1.7) в (1.1) после ряда преобразований получим выражение для коэффициента Пуассона:

$$\mu = -\frac{d_0}{b} Cot[\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2}] Csc[\alpha_0] \quad (1.8)$$

где α_1 – угол, зависящий от деформаций решетки.

Найдем зависимость α_1 от продольных деформаций.Подставив в формулу (1.2) формулы(1.4) и (1.5) получаем:

$$\varepsilon_x = \frac{b(Cos[\alpha_0] - Cos[\alpha_0 + \alpha_1])}{d_0}; \quad (1.9)$$

Решив уравнение (1.9) относительно α_1, получим:

$$\alpha_1 = ArcCos\left[\frac{-d_0\varepsilon_x + bCos[\alpha_0]}{b}\right] - \alpha_0; \quad (1.10)$$

Подставив значение α_1 в формулу (1.8), получили:

$$\mu = \frac{1}{\varepsilon_x}\left(1 - \sqrt{1 - (c\varepsilon_x - Cos[\alpha_0])^2} Csc[\alpha_0]\right); \quad (1.11)$$

Где $c = \frac{d_0}{b}$.

Формулой (1.11) определяется значение коэффициента Пуассона μ в зависимости от продольных деформаций ε_x. Данная зависимость носит нелинейный характер. В формулу (1.11) помимо ε_x входят только геометрические параметры решетки (рисунок 1.1).

Геометрические параметры должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$d_0 \geq b\cos\alpha_0 \tag{1.12}$$

$$\alpha_0 \in [ArcCos\frac{d_0}{b},\ \frac{\pi}{2}] \tag{1.13}$$

$$a_0 < d_0 \tag{1.14}$$

Если стержни, из которых сконструирована решётка, (см. рис. 1.1) нерастяжимы, то график зависимости $\mu(\varepsilon_x)$ должен строиться в конечных пределах. Найдем максимальную деформацию ячейки периодичности, предполагая, что стержни абсолютно твердые:

$$\varepsilon_x \in [\varepsilon_x^{min}\ , \varepsilon_x^{max}\ ] \tag{1.15}$$

В процессе деформации решетки меняется угол α_1:

$$\varepsilon_x^{max} = \frac{\Delta a}{d_0} = \frac{bCos[\alpha_0] - bCos[\alpha_0 + {\alpha_1}^{max}]}{d_0} \tag{1.16}$$

Максимальный угол, который могут образовать α_0 и ${\alpha_1}^{max}$, исходя из геометрии решетки (рисунок 1.1), равен π:

$$\alpha_0 + {\alpha_1}^{max} = \pi \tag{1.17}$$

Подставляя (1.17) в (1.16), получим, что максимальная продольная деформация дается соотношением:

$${\varepsilon_x}^{max} = \frac{Cos[\alpha_0]}{\text{c}} \tag{1.18}$$

А минимальная продольная деформация выражается следующим образом:

$$\varepsilon_x^{min} = -\frac{Cos[\alpha_0]}{\text{c}}$$

Задав значения геометрических параметров, которые задают свойства решетки, построим график зависимости коэффициента Пуассона для больших деформаций (рисунок 1.3).

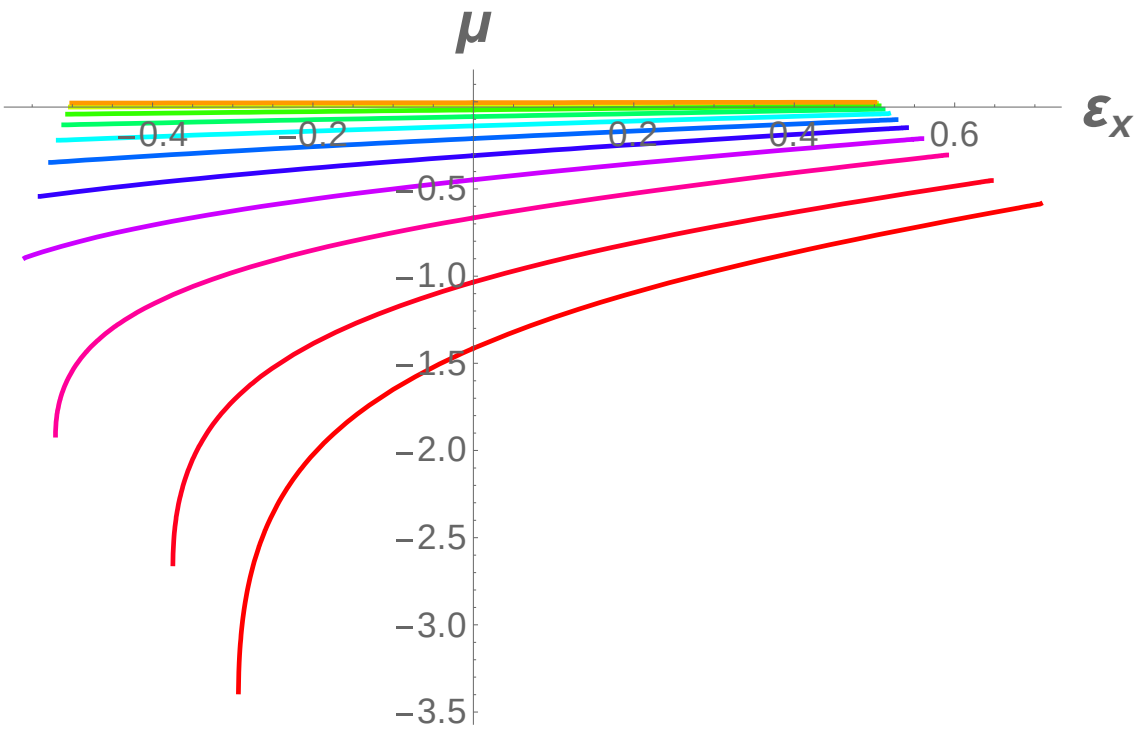

Рисунок 1.3 График зависимости коэффициента Пуассона для больших деформаций

График зависимости коэффициента Пуассона для больших деформаций был построен для формулы (1.11). Из график видно, что коэффициент Пуассона всегда отрицательный. Коэффициент почти постоянный и близок к 0, если значение $c = \frac{d_0}{b}$ мало. Если значение c близко к 1, а $\alpha_0 = \pi/4$, то значение коэффициента Пуассона при изменении деформации меняется заметно. С ростом продольной деформации коэффициент Пуассона убывает.

Значения d_0/b возрастает с шагом 0.1 от 0.1 до 1.

Значение угла α_0взято равным:

$$\alpha_0 = \left(ArcCos[\frac{d_0}{b}] + \frac{\pi}{2}\right)/2 \tag{1.19}$$

Деформация ячейки периодичности меняется в пределах:

$$\varepsilon_x \in [-\frac{Cos[\alpha_0]}{\mathrm{c}},\ \frac{Cos[\alpha_0]}{\mathrm{c}}] \tag{1.20}$$

Максимальный коэффициент Пуассона:

$$\mu^{max} = -c(-1 + Csc[\alpha_0])Sec[\alpha_0] \tag{1.21}$$

Минимальный коэффициент Пуассона:

$$\mu^{min} = c\left(-1 + \sqrt{1 - 4Cos[\alpha_0]^2}Csc[\alpha_0]\right)Sec[\alpha_0] \tag{1.22}$$

Деформации, при которых коэффициент Пуассона равен нулю лежит за пределами допустимых значений, следовательно, коэффициент Пуассона никогда не обращается в 0:

$$\varepsilon_x = \frac{2Cos[\alpha_0]}{c} \tag{1.23}$$

В предположении, что деформации малы, тогда разложим коэффициент Пуассона (1.11) в ряд, удерживая слагаемые 0-го порядка малости:

$$\mu(\alpha_0) = -cCot[\alpha_0]Csc[\alpha_0] \tag{1.24}$$

Для построения графика (рис.1.4) будем менять соотношение d_0/b с шагом 0.1 от 0.1 до 1 по направлению от верхнего графика к нижнему.

Значения угла α_0берется из области его допустимых значений:

$$\alpha_0 \in [ArcCos\frac{d_0}{b},\ \frac{\pi}{2}] \tag{1.25}$$

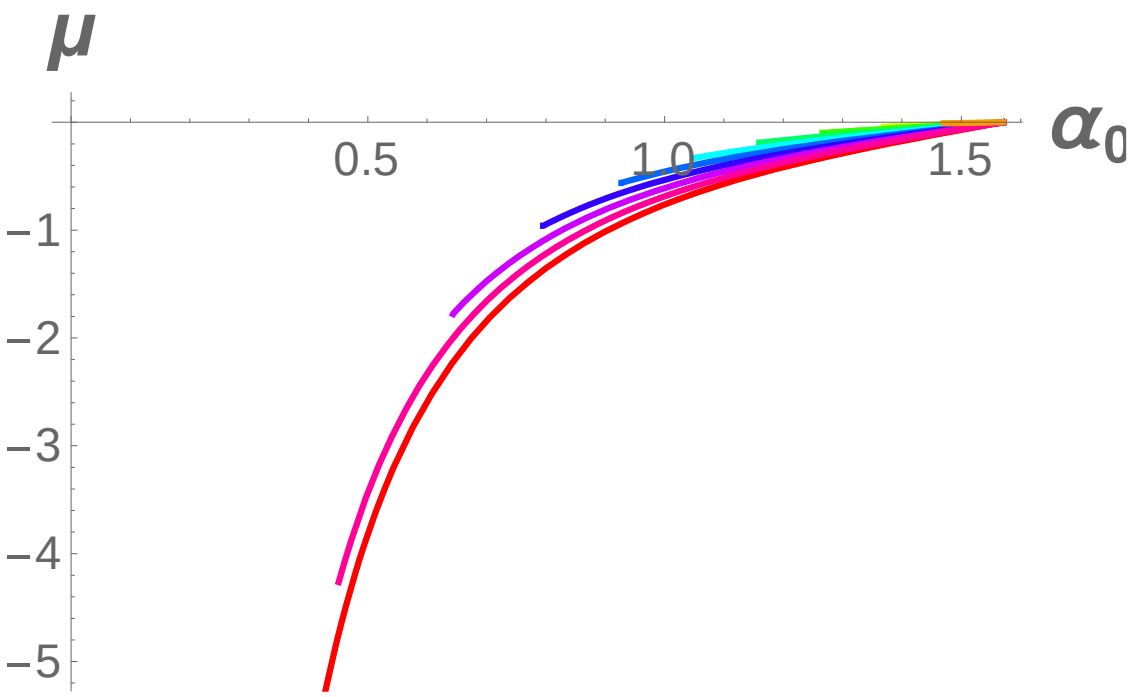

Рисунок 1.4 График зависимости коэффициента Пуассона от малых деформаций

1.2. Расчёт коэффициент Пуассона при поперечных деформациях

Коэффициент Пуассона также, как и при продольных деформациях, вычисляется с помощью формулы (1.1).

В начале расчётов выделим из решетки (см. рис.1.1) ячейку периодичности (см. рис. 1.2) для удобства вычислений.

При поперечном растяжении точку В перемещаем вдоль оси y, в связи с этим точка А изменит свое начальное положение и сдвинется вверх.d_0, b, α_0— геометрические параметры, которые задают свойства решетки, все величины должны вычисляться через них.

Выразим величины, необходимые для вычисления коэффициента Пуассона через геометрические параметры:

$$\Delta a = bCos[\alpha_0] - bCos[\alpha_0 + \alpha_1] \quad (1.34)$$

$$a_0 = d_0 - bCos[\alpha_0] \quad (1.35)$$

$$\Delta h = bSin[\alpha_0 + \alpha_1] - bSin[\alpha_0] \quad (1.36)$$

$$h_0 = bSin[\alpha_0] \quad (1.37)$$

Подставив формулы (1.34) – (1.37) в (1.1) после ряда преобразований получим выражение для коэффициента Пуассона:

$$\mu = (Cos[\alpha_0] - \frac{d_0}{b})Cot[\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2}]Csc[\alpha_0] \quad (1.38)$$

где α_1– угол, зависящий от деформаций решетки.Найдем зависимость α_1 от поперечных деформаций.Подставив в формулу (1.2) формулы (1.36) и (1.37) получаем:

$$\varepsilon_y = \frac{Sin[\alpha_0+\alpha_1]-Sin[\alpha_0]}{Sin[\alpha_0]} \quad (1.39)$$

Решив уравнение(1.39) относительно α_1, найдем:

$$\alpha_1 = \alpha_0 - ArcSin[(1 + \varepsilon_y)Sin[\alpha_0]] \quad (1.40)$$

Подставим значение α_1 в формулу (1.38), тогда

$$\mu = (-\frac{d_0}{b} + Cos[\alpha_0])Cot[\frac{1}{2}(3\alpha_0 - ArcSin[(1+\varepsilon_y)Sin[\alpha_0]])]Csc[\alpha_0] \quad (1.41)$$

Геометрические параметры должны удовлетворять соотношениям(1.12) – (1.14).

Для того чтобы построить график зависимости коэффициента Пуассона от поперечной деформации необходимо найти максимальную и минимальную допустимые поперечные деформации:

$$\varepsilon_y^{max} = (Csc[\alpha_0] - 1) \quad (1.42)$$

$$\varepsilon_y^{min} = -1 + \sqrt{1 - c^2}Csc[\alpha_0]$$

Задав значения геометрических параметров решетки, построим график зависимости коэффициента Пуассона от поперечных деформаций (см. рис. 1.5).

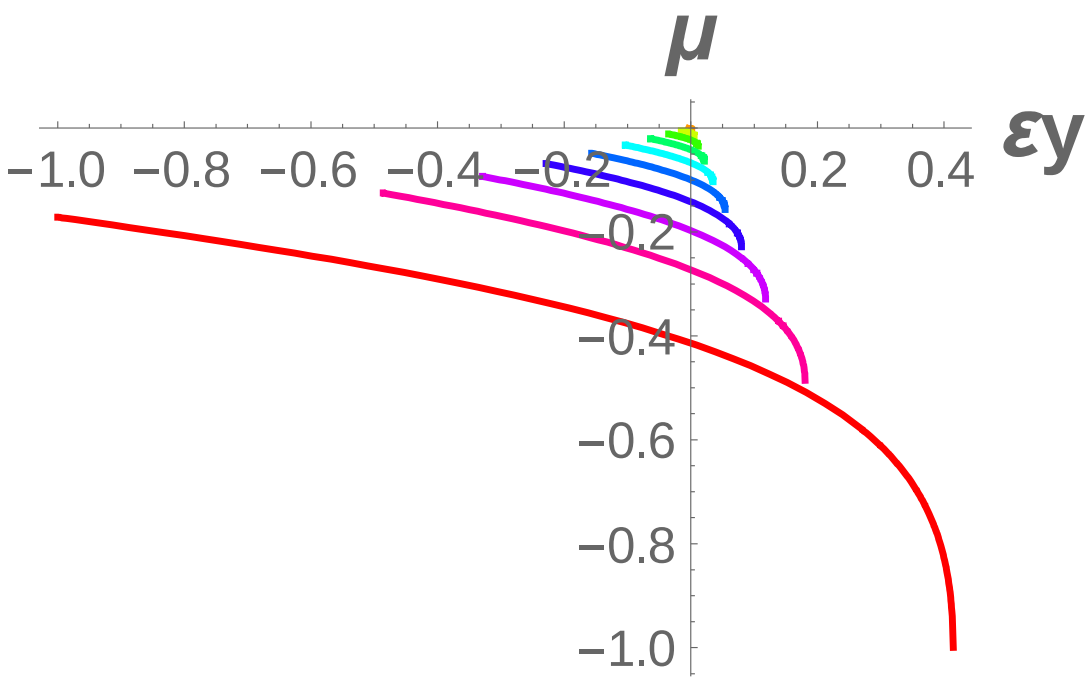

Рисунок 1.5 График зависимости коэффициента Пуассона от поперечной деформации

График зависимости коэффициента Пуассона для больших деформаций был построен для формулы (1.41). Из графика видно, что коэффициент Пуассона всегда отрицательный, наибольшая деформация возможна, когда $\frac{d_0}{b} = 1$. Если значение c близко к 1, а $\alpha_0 = \pi/4$ (на графике), то значение коэффициента Пуассона при изменении деформации меняется заметно. С ростом продольной деформации коэффициент Пуассона возрастает.

Значения d_0/b возрастает с шагом 0.1 от 0.1 до 1.

Значение угла α_0взято равным:

$$\alpha_0 = \left(ArcCos[\frac{d_0}{b}] + \frac{\pi}{2}\right)/2 \tag{1.43}$$

Деформация ячейки периодичности меняется в пределах:

$$\varepsilon_y \in [-1 + \sqrt{1 - c^2}Csc[\alpha_0],\ (Csc[\alpha_0\ ] - 1)] \tag{1.44}$$

Максимальный коэффициент Пуассона:

$$\mu^{max}=(\frac{d_0}{b} - Cos[\alpha_0])Csc[\alpha_0]Tan[\frac{1}{4}(\pi + 6\alpha_0)] \tag{1.45}$$

Минимальный коэффициент Пуассона:

$$\mu^{min} = \left(Cos[\alpha_0] - \frac{d_0}{b}\right)Cot[\alpha_0]/Sin[\alpha_0] \tag{1.46}$$

В предположении, что деформации малы, разложим коэффициент Пуассона (1.41) в ряд, удерживая слагаемые 0-го порядка малости:

$$\mu(\alpha_0) = \cot(\alpha_0)\left(\cot\alpha_0 - \frac{d_0}{b}\csc\alpha_0\right) \tag{1.48}$$

Значения угла α_0берется из области его допустимых значений:

$$\alpha_0 \in [ArcCos\frac{d_0}{b},\ \frac{\pi}{2}] \tag{1.49}$$

При малых поперечных деформациях коэффициент Пуассона, если варьировать c от 0 до 1, с шагом 0.1, то зависимость коэффициента Пуассона от малых деформаций выглядит следующим образом:

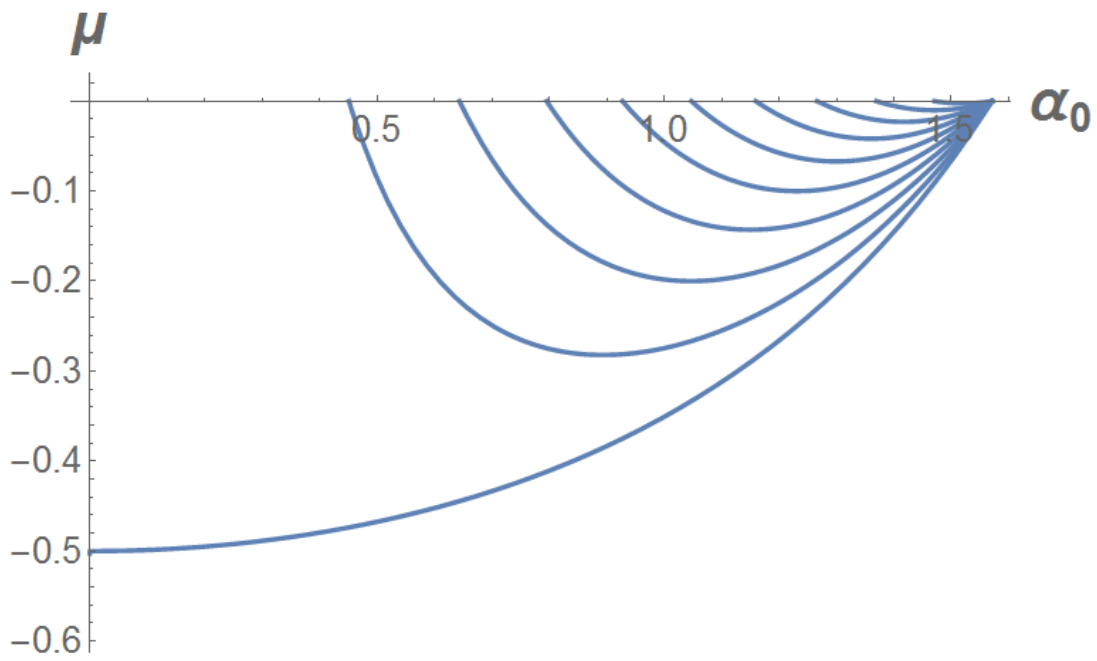

Рисунок 1.6 График зависимости коэффициента Пуассона от малых деформаций

Из рисунка 1.6 видно, что для каждого значения c существует минимальный коэффициент Пуассона.

Если измерения угла представляют технические трудности, то удобно воспользоваться другим набором геометрических параметров: a_0, d_0, b — которые задают свойства решетки. Вместо угла α_0 используется параметр a_0.

Для данной параметризации получим, что уравнения (1.16) - (1.19) удовлетворяют все условия и можно вести с помощью них расчет. Поставив формулы (1.16) – (1.19) в формулу (1.1) получим:

$$\mu = -\frac{1}{\varepsilon_y}\left(\frac{-d_0+\sqrt{b^2-(h_0+h_0\varepsilon_y)^2}}{-d_0+\sqrt{b^2-{h_0}^2}}-1\right) \tag{1.50}$$

Для того чтобы проверить правильность наших вычислений, используя первый метод параметризации, выразим a_0 через формулу (1.5):

Подставив формулу (1.5) в уравнение коэффициента Пуассона, полу*чим:*

$$\mu = \frac{\sqrt{b^2 Cos[\alpha_0]^2} - \sqrt{b^2(1-(1+\varepsilon_y)^2 Sin[\alpha_0]^2)}}{\varepsilon_y(b\ Cos[\alpha_0] - d_0)} \quad (1.51)$$

Так как значение пределов, в которых меняется ε_y , мы уже знаем, можем использовать полученное уравнение коэффициента Пуассона для построения графика функции.

В данной главе была изучена геометрия жесткой решетки материала с шарнирами в узлах, обладающая ауксетическими свойствами. Рассчитан Коэффициент Пуассона для продольных и поперечных больших и малых деформаций, построены графики. В обоих случаях коэффициент Пуассона отрицательный.

График зависимости коэффициента Пуассона для больших продольных деформаций был построен для формулы (1.41). Из графика видно, что коэффициент Пуассона всегда отрицательный, наибольшая деформация возможна, когда $\frac{d_0}{b} = 1$.

ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЖЕСТКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ СТЕРЖНЕЙ

В данной главе проведены расчеты для определения углов поворота, перемещения, и коэффициента жесткости ячейки., состоящей из гибких нерастяжимых стержней. Получено деформированное состояние решетки.

Уравнение статики стержней выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \boldsymbol{N}' = 0 \\ \boldsymbol{M}' + \boldsymbol{t} \times \boldsymbol{N} = 0 \end{cases} \tag{2.1}$$

Где $\boldsymbol{N}$ – сила в сечении, $\boldsymbol{M}$ – момент в сечении.

Определяющие соотношения имеют вид:

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{\Phi} \tag{2.2}$$

Где $\boldsymbol{\Phi}$ - вектор угловых деформаций.

$$\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{\psi}' \tag{2.3}$$

Где $\boldsymbol{\psi}$ – вектор поворота.

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{\psi}' \tag{2.4}$$

Решим уравнение для момента (2.4), чтобы найти поворот $\boldsymbol{\psi}$:

$$(\boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{\psi}'') + \boldsymbol{t} \times \boldsymbol{N} = 0 \tag{2.5}$$

$$(\boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{\psi}'') + \boldsymbol{r}'(\boldsymbol{s}) \times \boldsymbol{N} = 0 \tag{2.6}$$

Решим уравнения для сил

$$\boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{j} = 0 \quad \text{при } s = 0 \tag{2.7}$$

$$\boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{i} = N_0 \quad \text{при } s = l \tag{2.8}$$

Из уравнений (2.7)-(2.8) следует, что:

$$\boldsymbol{N} = N_0 \boldsymbol{i} \tag{2.9}$$

Из уравнения (2.9) получили уравнение для нахождения поворотов:

$$(\boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{\psi}'') + \boldsymbol{r}'(\boldsymbol{s}) \times N_0 \boldsymbol{i} = 0 \tag{2.10}$$

При граничных условиях:

$$\boldsymbol{\psi}_{s=0,l} = 0 \tag{2.11}$$

$$\boldsymbol{C} = \mathrm{C}_t \boldsymbol{tt} + C_b(\boldsymbol{E} - \boldsymbol{tt}) \tag{2.12}$$

$$\boldsymbol{\psi} = \boldsymbol{k}\psi \tag{2.13}$$

Подставив в уравнение (2.4) уравнения (2.12) и (2.13) получили уравнение для определения углов поворота:

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{k}\psi' = (C_t \boldsymbol{r}'(\boldsymbol{r}' \cdot \boldsymbol{k}) + C_b\big(\boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{k} - \boldsymbol{r}'(\boldsymbol{r}' \cdot \boldsymbol{k})\big) \cdot \boldsymbol{\psi}' = C_b \boldsymbol{k}\psi' \tag{2.14}$$

После ряда упрощающих операций получим:

$$C_b \boldsymbol{k}\, \psi'' + \boldsymbol{r}'(\boldsymbol{s}) \times \boldsymbol{i} N_0 = 0 \tag{2.15}$$

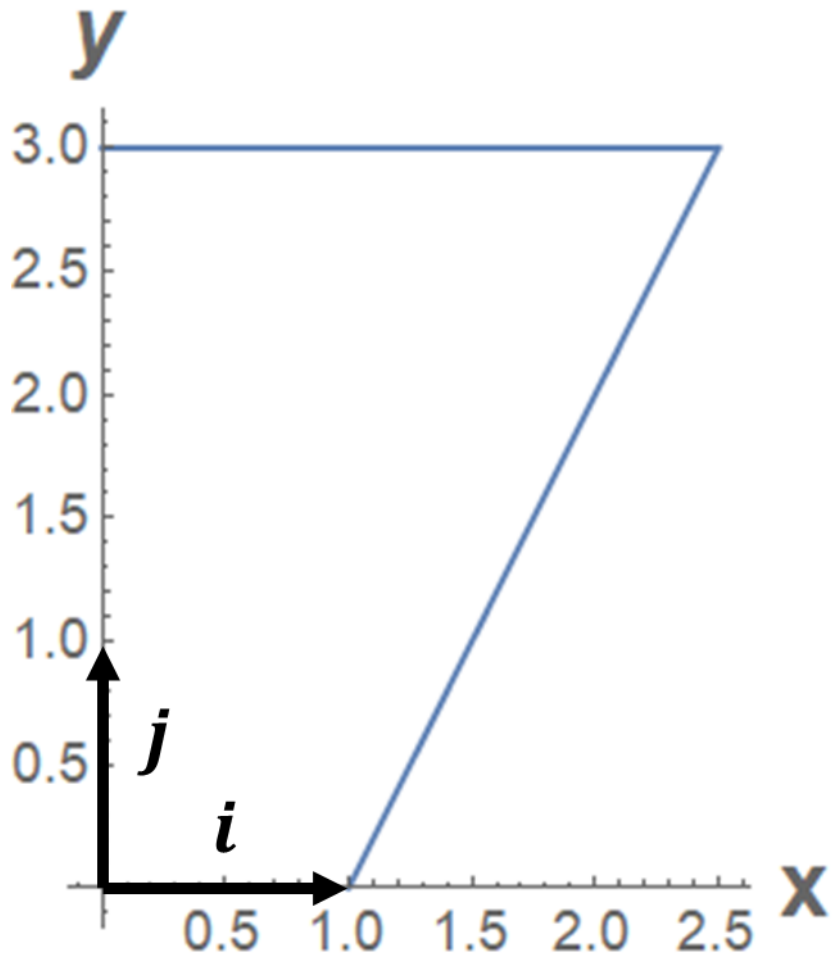

Рисунок2.1 Отсчетная конфигурация стержневой модели ячейки периодичности

Геометрия стержня в отсчетной конфигурации задается следующим образом:

$$\boldsymbol{r}[s] = (\boldsymbol{i}s + \boldsymbol{j}h_0)H[d_0 - s] + \left\{\left(d_0 + \frac{d_0 - s}{\sqrt{1+k^2}}\right)\boldsymbol{i} + \left(h_0 + \frac{k(d_0 - s)}{\sqrt{1+k^2}}\right)\boldsymbol{j}\right\}H[s - d_0] \quad (2.16)$$

Подставляя (2.16) в (2.15) получим в проекции на $\boldsymbol{k}$:

$$C_b\psi''[s] - \frac{kN_0}{\sqrt{1+k^2}}H[s - d_0] = 0 \quad (2.17)$$

Поворот на левой и правой границах отсутствует:

$$\psi[0] = 0 \quad (2.18)$$

$$\psi[b + d_0] = 0 \quad (2.19)$$

Решая задачу (2.17), использую уравнения (2.18), (2.19), найдем углы поворота:

$$\boldsymbol{\psi} = -\frac{kN_0(b^2 s - (b+d_0)(d_0 - s)^2 \mathrm{H}[s - d_0])}{C_b(b+d_0)\sqrt{1+k^2}}\boldsymbol{k} \quad (2.20)$$

Перемещение определяется формулой:

$$\boldsymbol{U}' = -\boldsymbol{t} \times \boldsymbol{\psi} \quad (2.21)$$

Подставив уравнение (2.20) в уравнение (2.21) получим производную перемещения в следующем виде:

$$\boldsymbol{U}' = \boldsymbol{r}'[s] \times \boldsymbol{k}\frac{kN_0(b^2 s - (b+d_0)(d_0 - s)^2 H[s - d_0])}{2C_b(b+d_0)\sqrt{1+k^2}} \quad (2.22)$$

Перемещений в общем виде выражается следующим образом:

$$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{i}\,U_i + \boldsymbol{j}\,U_j + \boldsymbol{U}_0 \quad (2.23)$$

Перемещение вдоль оси i

$$U_i = -\frac{k^2 N_0(2b(d_0 - s)^3 + 2d_0(d_0 - s)^3 + 3b^2 s^2)}{12C_b(b+d_0)(1+k^2)}H[s - d_0] \quad (2.24)$$

Перемещение вдоль оси j:

$$U_j = \frac{kN_0(2b(d_0 - s)^3 + 2d_0(d_0 - s)^3 + 3b^2 s^2)}{12C_b(b+d_0)(1+k^2)}H[s - d_0] - \frac{b^2 kN_0 s^2}{4C_b(b+d_0)\sqrt{1+k^2}}\mathrm{H}[d_0 - s] \quad (2.25)$$

Чтобы перемещение в точке d_0 были непрерывны прибавим к перемещениям следующий вектор:

$$\boldsymbol{U}_0 = \boldsymbol{i}u_{oi} + \boldsymbol{j}\,u_{oj} \quad (2.26)$$

По оси ***i*** получим, что перемещения отсутствуют:

$$u_{oi} = 0 \tag{2.27}$$

По оси ***j*** получиим, что:

$$u_{oj} = -\frac{b^2(b+3d_0)kN_0}{12C_b(1+k^2)} \tag{2.28}$$

Тогда, подставив уравнения (2.24) - (2.26) в (2.23) получим компоненты перемещений:

$$U_i = -\frac{k^2N_0(2b(d_0-s)^3+2d_0(d_0-s)^3+3b^2s^2)\mathrm{H}[s-d_0]}{12C_b(b+d_0)(1+k^2)\frac{b^2{d_0}^2k^2N_0}{4\mathrm{Cb}(b+d_0)(1+k^2)}H[s-d_0]} \tag{2.29}$$

$$U_j = \frac{kN_0(-b^2(b+d_0)(b+3d_0)-3b^2\sqrt{1+k^2}s^2\mathrm{H}[d_0-s]}{12C_b(b+d_0)(1+k^2)} + \\ + \frac{(2b(d_0-s)^3+2d_0(d_0-s)^3+3b^2s^2)\mathrm{H}[s-d_0]}{12C_b(b+d_0)(1+k^2)} \tag{2.30}$$

Посмотрим, как выглядит стержень после деформации, прибавив вектор перемещений к формуле (2.16) при разных значениях растягивающей силы, получим семейство кривых на графике (рисунок 2.2).

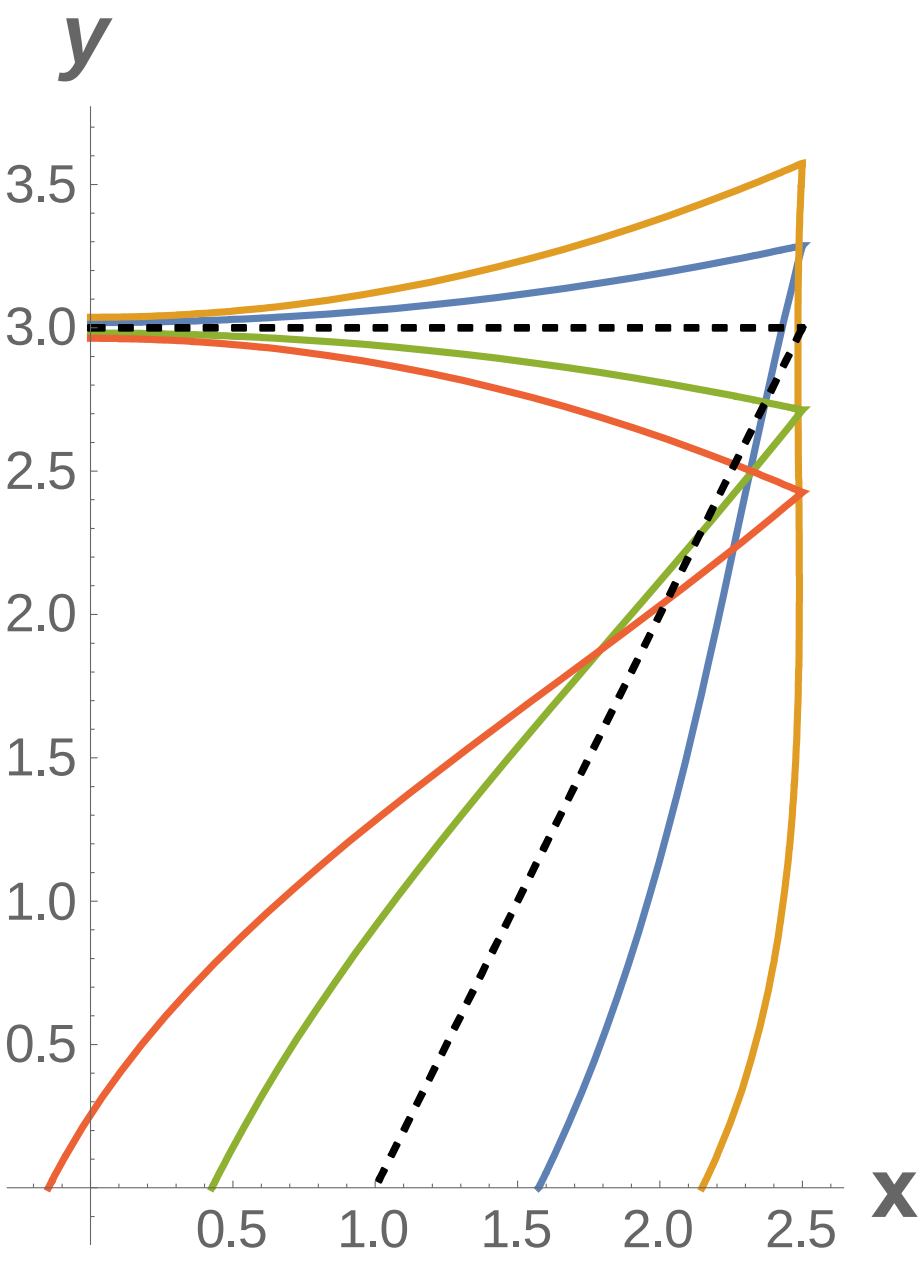

Рисунок 2.2 Деформированная конфигурация стержня

Коэффициент жесткости рассчитывается с помощью формулы:

$$C = \frac{N_0}{U_{s=d_0+b} \cdot i} \tag{2.31}$$

Подставив в формулу (2.31) перемещения (2.26) получим значение коэффициента жесткости:

$$C = \frac{12C_b\left(1+\frac{d_0}{\sqrt{(a_0-d_0)^2+{h_0}^2}}\right)}{{h_0}^2\left(4d_0+\sqrt{(a_0-d_0)^2+{h_0}^2}\right)} \tag{2.32}$$

установим, как параметры a_0,d_0 или h_0 влияют на жесткость.

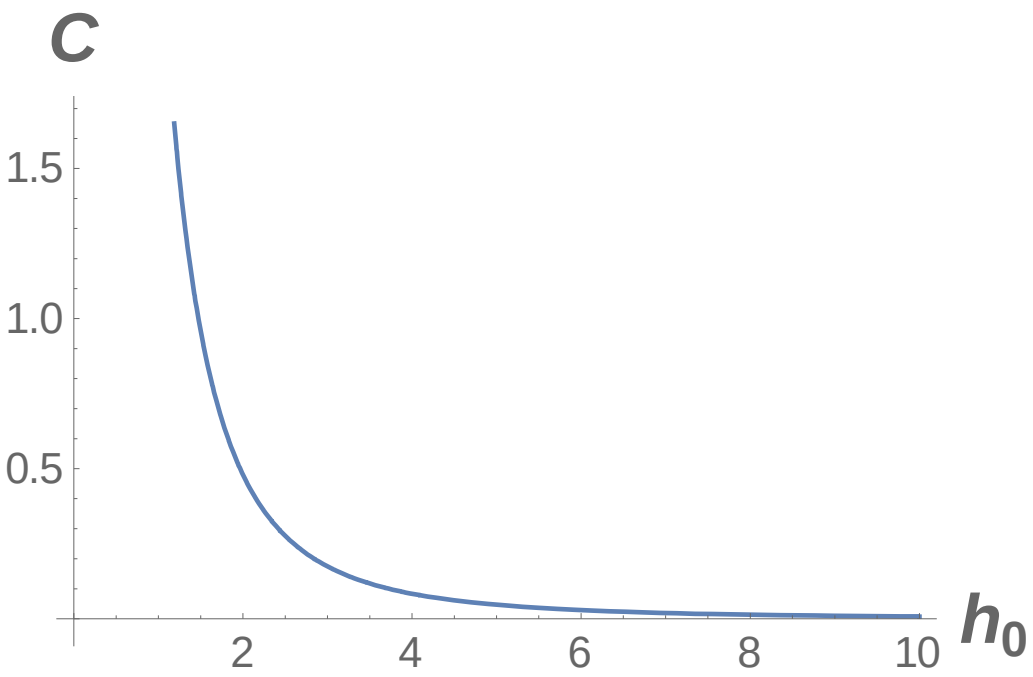

Рисунок 2.3 Зависимость жесткости от изменения высоты ячейки периодичности

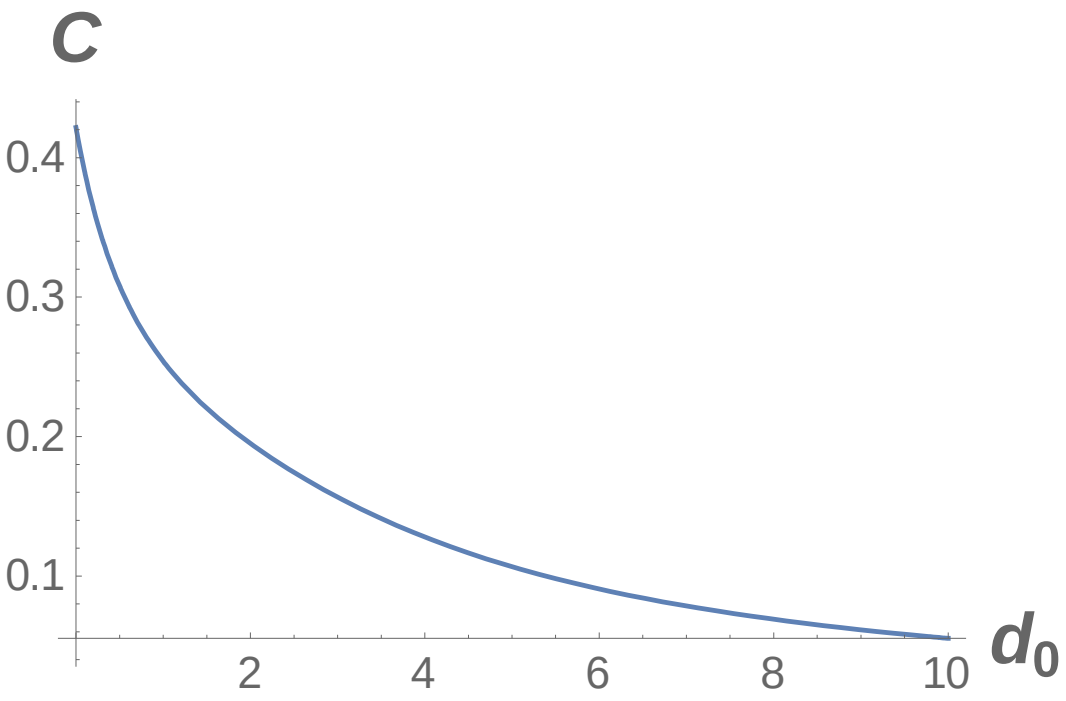

Рисунок 2.4 Зависимость жесткости от изменения ширины ячейки периодичности

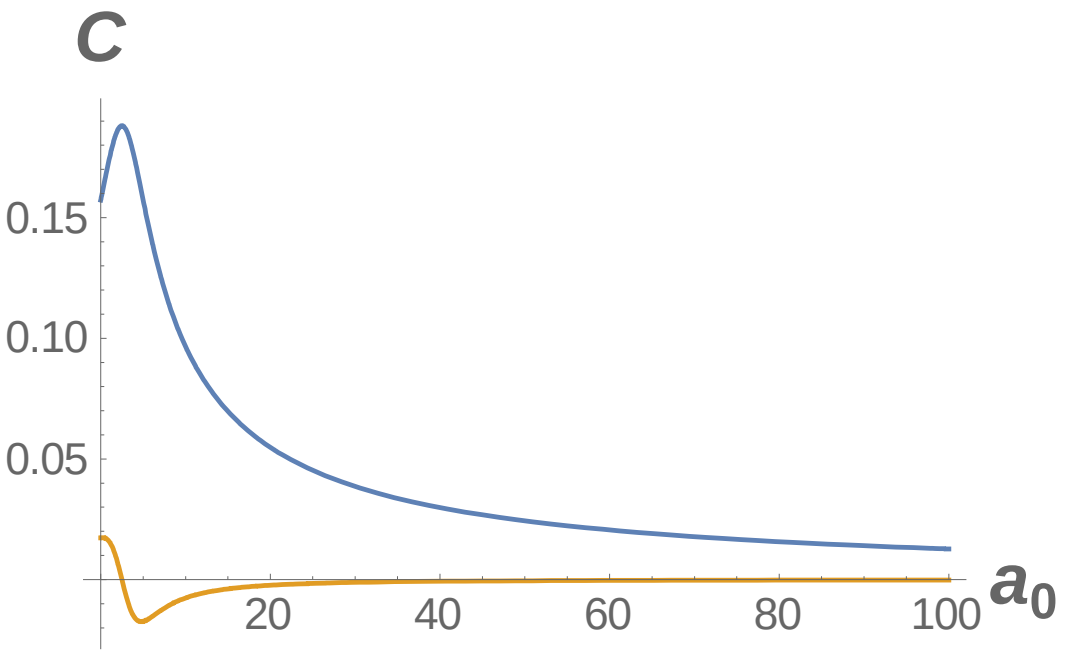

Рисунок 2.5 Зависимость жесткости от изменения длины наименьшего основания трапеции

Согласно построенным графикам можно сделать выводы, что с уменьшением h_0 жесткость ячейки растет неограниченно. Для каждого значения

h_0 существуют свои a_0 и d_0 при которых конструкция имеет наибольшую жесткость.

Чем меньше d_0, тем меньше жесткость ячейки, при d_0=0 жесткость ячейки максимальна.

При изменении a_0 есть такое значение , при котором жесткость максимальная, после этой точки с увеличением a_0жесткость уменьшается.

Таким образом, были найдены выражения для определения углов поворота, перемещений и коэффициента жесткости. Определена начальная геометрия решетки, а также ее деформированное состояние. Построены и проанализированы графики зависимости жесткости от изменений геометрических параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы получены следующие результаты:

1. Определено значение коэффициента Пуассона μ в зависимости от продольных ε_x и поперечных деформаций ε_y;

2. График зависимости коэффициента Пуассона для больших продольных деформаций был построен для формулы (1.11). Коэффициент Пуассона всегда отрицательный. Коэффициент почти постоянный и близок к 0, если значение $c = \frac{d_0}{b}$ мало. Если значение c близко к 1, а $\alpha_0 = \pi/4$, то значение коэффициента Пуассона при изменении деформации меняется заметно. С ростом продольной деформации коэффициент Пуассона убывает;

3. График зависимости коэффициента Пуассона для больших поперечных деформаций был построен для формулы (1.41). Коэффициент Пуассона всегда отрицательный, наибольшая деформация возможна, когда $\frac{d_0}{b} = 1$. Если значение c близко к 1, а $\alpha_0 = \pi/4$, то значение коэффициента Пуассона при изменении деформации меняется заметно. С ростом продольной деформации коэффициент Пуассона возрастает

4. Найдено соотношение для определения жесткости решетки при продольных деформациях;

5. Найдено деформируемое состояние решетки, возникающее после приложения силы в направлении оси x к ячейке периодичности.

6. Решетка ауксетика, созданная из пластин, лежащих в плоскости OXY при растяжении расширяется в направлении оси OZ. Решетка, сделанная таким способом, теряет устойчивость при растяжении, а не при сжатии, как обычные материалы.

7. Решетка ауксетика, созданная из пластин, наибольшая сторона которых лежит в плоскостях перпендикулярных OXY, при растяжении расширяется в плоскости OXY, т.о. материал остается плоским.

Для выполнения необходимых расчетов изучен язык программирования WolframLanguage, и все вычисления производились в программном пакете WolframMathematica.

Автор благодарен за помощь в создании экспериментальных образцов А. Марковой и А. Опочанскому

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Berinskii I.E. In-plane elastic properties of auxetic multilattices. IOP Conference Series. Smart Materials and Structures. 2018, V.27, Number 7;

2. Carneiro V.H., Meireles, J., Puga, H. Auxetic materials: a review. Mater. Sci. Pol. 2013, 31(4), 561–571.

3. Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Lim T.-C. Three-layered plate exhibiting auxeticity based on stretching and bending modes. Composite Structure. 2018, V.194, P. 643-651;

4. Komarova M.A., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Variability of Young's modulus and Poisson's ratio of hexagonal crystals. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, V.347, P. 12-19;

5. Mir M., Ali M.N., Sami J., Ansari U. Review of Mechanics and Applications of Auxetic Structures. Advances in Materials Science and Engineering. 2014, V.2014.

6. Pasternak E., Dyskin, A.V. Materials with Poisson’s ratio near 1: properties and possible realisations. In: ICTAM 2008, Denier J., Finn M.D., Mattner T. (Eds.). 2008, XXII International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, CDROM Proceedings ISBN 978-0-9805142-1-6, Paper 11982.

7. Pasternak E., Dyskin, A.V. Materials and structures with macroscopic negative Poisson’s ratio. International Journal of Engineering and Science, 2012, 52, 103–114.

8. Pravoto, Y. Seeing auxetic materials from the mechanics point of view: a structural review on the negative Poisson’s ratio. Comput. Mater. Sci. 2012, 58, 140–153;

9. Ren X., Das R., Tran P., Ngo T.D., Xie Y.M. Auxetic metamaterials and structures: A review. IOP Conference Series. Smart Materials and Structures. 2018;

10. Rothenburg L., Berlin A.A., Bathurst R.J. Microstructure of isotropic materials with negative Poisson’s ratio. Nature, 1991, 354, 470–472.

11. Rushchitsky J.J. Auxetic linearly elastic isotropic materials: restrictions on elastic moduli. Archive of Applied Mechanics. 2015, V.85, 517–522;

12. Shufrin I., Pasternak E., Dyskin, A.V. Symmetric structures with negative Poisson's ratio. In: Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics Conference, 2010.

13. Stott P.J., Mitchell R., Alderson K., Alderson A. Auxetic Materials — Applications. Materials World. 2000, vol. 8, 12-14.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Охрана труда

Дипломная работа носит научно-исследовательский характер, которая требует большую часть рабочего времени проводить за компьютером. Сложность работы за компьютером подтверждается как субъективными ощущениями пользователей, так и объективными исследованиями различных реакций на воздействие тех или иных производственных факторов. Работа за компьютером связана с восприятием изображения на экране и с одновременным различением текста рукописных или печатных материалов, с выполнением машинописных графических работ и других операций, что способствует зрительному утомлению, которое усиливается из-за бликов, мерцаний и других отклонений визуальных параметров экрана и световой среды помещения. Основные вредные и опасные факторы при работе с компьютером: нервное напряжение; повышенное зрительное напряжение; электромагнитные поля и последствия их воздействия; костно-мышечные напряжения; Указанные факторы приводят к тому, что постоянная работа за компьютером по степени развития утомления занимает второе место среди всех видов деятельности. Для оптимального варианта организации работы необходимо свести к минимуму его неблагоприятное воздействие на здоровье пользователя, то есть привести рабочее место в соответствие с требованиями эргономики и охраны труда. Зрительное напряжение Повышенная нагрузка на зрение способствует возникновению близорукости, приводит к переутомлению глаз, к мигрени и головной боли, повышает раздражительность, нервное напряжение, может вызвать стресс.

Критериями выбора оптимального варианта организации работы оператора является техническая эффективность и соответствие требованиям эргономики и охраны труда. Эргономикой изучаются возможности и особенности деятельности человека в процессе труда с целью создания таких условий, методов и организаций трудовой деятельности, которые делают трудовой процесс наиболее производительным и вместе с тем обеспечивают

безопасность и удобство работающему, сохраняют его здоровье и работоспособность.

Общая характеристика санитарно-гигиенических условий труда

Научная и исследовательская работа преимущественное количество времени проводится на рабочем месте, т.е. в помещении, оснащенном соответствующим для этого оборудованием. Все рабочие места не реже двух раз в пять лет подлежат аттестации. По результатам аттестации рабочие места подразделяются на три группы:

- аттестованные – рабочие места, показатели которых полностью соответствуют предъявленным требованиям;
- подлежащие рационализации – рабочие места, несоответствующие показатели которых могут быть доведены до уровня этих требований в процессе рационализации;
- подлежащие ликвидации – рабочие места, показатели которых не соответствуют и не могут быть доведены до уровня установленных требований [24].

В результате проведенной аттестации рабочего места программиста имеем следующие данные по условиям труда. Микроклимат производственного помещения определяется температурой (°С), относительной влажностью (%), скоростью движения воздуха (м/с). К категории 1а относятся работы, производимые сидя и не требующие физического напряжения, при которых расход энергии составляет до 120 ккал/ч; к категории 1б относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением, при которых расход энергии составляет от 120 до 150 ккал/ч. Проведение научно-исследовательских работ на данном рабочем месте относится по величине энергозатрат к категории 1а.

Эргономические требования к рабочему месту оператора ЭВМ

Работы оператора ЭВМ проводятся сидя и имеют ежедневную

продолжительность порядка 8 часов. Такие условия являются причиной пониженной мышечной активности и высоким уровнем статического мышечного напряжения, которое возникает по причине долгого нахождения в положении сидя. Нерациональная высота рабочей поверхности стола и сидения, отсутствие опорной спинки и подлокотников, неудобные углы сгибания в плечевом и локтевом суставах, неудобное размещение документов, видеотерминала и клавиатуры, неправильный угол наклона экрана, отсутствие пространства и подставки для ног способствует увеличению утомления.

В соответствии с требованиями эргономики, рабочее место должно быть приспособлено для конкретного вида труда и для работников определённой квалификации с учётом их физических и психических возможностей и особенностей. Конструкция рабочего места должна обеспечивать быстроту, безопасность, простоту и экономичность технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях; полностью отвечать функциональным требованиям и предполагаемым условиям эксплуатации. При размещении ВТ на рабочем месте учитываются границы полей зрения оператора, которые определяются положением глаз и головы. Различают зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости, ограниченные определенными углами, в которых располагают экран ВТ (45°–60°), пюпитр (35°–45°) и клавиатура. При периодическом наблюдении за экраном рекомендуется располагать элементы оборудования так, чтобы экран находился справа, клавиатура — напротив правого плеча, а документы — в центре угла обзора. При постоянной работе экран должен быть расположен в центре поля обзора, документы — слева на столе или специальной подставке (ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ).

Общие эргономические требования:

–рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600мм, шириной – не менее 500мм, глубиной на уровне колен – не менее 450мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650мм.

–рабочий стул (кресло) должен быть подъёмно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона и по расстоянию спинки от переднего

края сиденья, его конструкция должна обеспечивать ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400мм; регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 − 450мм; углы наклона вперёд 15∘ и назад 5∘; высоту опорной поверхности спинки 30 ± 20мм; ширину опорной поверхности спинки не менее 380мм; 28 радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400мм; пределы угла наклона спинки в вертикальной плоскости 0 ± 30∘. Высота сидения от пола должна регулироваться в пределах 42–55 см. По желанию программиста может быть установлена подставка для ног размером 40x30x15 см и углом наклона 0–20° с не скользящим покрытием и не перемещаемая по полу (Таблица 4).

Таблица 4. Оптимальная высота сидения и подставки для ног

	Рост (см.)						
	150	155	160	165	170	175	180
Высота сидения и подставки (см)	59/22	57/18	55/14	53/10	51/6	49/2	47/0
	58/21	56/17	54/13	52/9	50/5	48/1	46/0
	57/20	55/16	53/12	51/8	49/4	47/0	45/0
	56/19	54/15	52/11	50/7	48/3	46/0	44/0
	55/18	53/14	51/10	49/6	47/2	45/0	43/0
	54/17	52/13	50/9	48/5	46/1	44/0	42/0
	53/16	51/12	49/8	47/4	45/0	43/0	41/0
	52/15	50/11	48/7	46/3	44/0	42/0	40/0
	51/14	49/10	47/6	45/2	43/0	41/0	39/0

	Рост (см.)						
	150	155	160	165	170	175	180
	50/13	48/9	46/5	44/1	42/0	40/0	38/0
	49/12	47/8	45/4	43/0	41/0	39/0	37/0
	48/11	46/7	44/3	42/0	40/0	38/0	36/0
	47/10	45/6	43/2	41/0	39/0	37/0	35/0
	46/9	44/5	42/1	40/0	38/0	36/0	34/0
	45/8	43/4	41/0	39/0	37/0	35/0	33/0

Покрытие стола должно быть матовым (с коэффициентом отражения 20–50%) и легко чиститься; углы и передняя грань доски должны быть закругленными. Высота пространства под столом для ног рекомендуется порядка 60 см на уровне колен и не менее

80 см на уровне ступней. Тип рабочего кресла выбирается в зависимости от продолжительности работы. При длительной работе кресло должно быть массивным, при кратковременной — легкой конструкции, свободно отодвигающееся.

Микроклиматические условия

Устанавливаемые СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные нормы температуры (23–25°С) и относительной влажности (60–40%) для теплого периода года, а также (22–24 °С) и (60–40 %) соответственно для холодного и переходного, скорости движения воздуха соблюдаются благодаря наличию системы кондиционирования, работающей в режиме автоматического регулирования. Скорость движения воздуха не превышает допустимого значения (<0.1 м/с, как

для холодного, так и для теплого периода). Оптимальные и допустимые параметры микроклимата согласно приведены соответственно в таблицах (Таблица 3, Таблица 4).

Таблица 5. Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	Легкая 1а Легкая 1б	22-24 21-23	40-60 40-60	0.1 0.1
Теплый	Легкая 1а Легкая 1б	23-25 22-24	40-60 40-60	0.1 0.2

Таблица 6. Допустимые параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	Легкая	19-25	не более 75	<0.2
Теплый	Легкая	не более чем на 3°С выше средн. Температуры наружного воздуха в 13 ч. самого жаркого месяца, но не более 28°С	24°С: <75 25°С: <70 26°С: <65 27°С: <60 28°С: <55	<0.2-0.5

В помещении отсутствуют выделения вредных веществ, поэтому вентиляция служит для удаления, насыщенного углекислым газом и пылью, воздуха и подачи свежего. Концентрация пыли должна быть не более 0.3 мг/м3 при размере частиц не более 5 микрон. В таблице (Таблица 5) приведены нормы подачи свежего воздуха в помещение в зависимости от объема на одного работающего.

Таблица 7. Нормы подачи воздуха

Объем помещения на одного работающего, м3	Норма подачи воздуха, м3/ч
До 20 20 – 40 от 40	не менее 30 не менее 20 естественная вентиляция

Уровень шума

На рабочем месте оператора источником шума является вычислительная машина, производящая постоянный небольшой шум. Шум представляет собой сочетание звуков, различных по интенсивности и частоте в частотном диапазоне 16–20 кГц, не несущих полезной информации. Шум вредно воздействует не только на органы слуха, но и на весь организм человека в целом через центральную нервную систему. Шум – причина преждевременного утомления, ослабления внимания, памяти. Характеристикой постоянного шума на рабочих местах является уровень звукового давления в децибелах в установленных октавных полосах:

$$L = 20 * 1g\left(\frac{P}{P_0}\right),$$

где Р – среднеквадратическое значение звукового давления (Па), Р0 = $2*10^5$ Па.

Характеристикой непостоянного шума является интегральный критерий – эквивалентный уровень звукового давления L (дБА), измеряемый по шкале А, имитирующей кривую чувствительности уха человека.

При нормировании по предельному спектру шума учитываются уровни звукового давления в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Этот метод является основным для постоянных шумов. Постоянным считается шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5дБА. В Таблице 6 приведены предельно допустимые значения уровня шума для данного производственного помещения в отдельных октавных полосах.

Таблица 8. Предельно-допустимые уровни шума

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	300	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, дБА							
79	70	63	58	55	52	50	49

Предельно допустимый эквивалентный уровень звука 60 дБ (для помещения в котором осуществляется эксплуатация ЭВМ). Для данного помещения уровень звука не превышает допустимого, поэтому применение специальных звукоизоляционных материалов не требуется. Воздействие вибрации, инфра- и ультразвука в помещении отсутствует.

Выбор системы освещения

Освещение рабочих мест и помещений, где расположены компьютеры, является важным фактором, влияющим на степень зрительного утомления. Помещения с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) и видеодисплейными терминалами ВДТ) должны иметь естественное и искусственное освещение. Искусственное освещение в помещениях эксплуатации ВДТ и ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, допускается применение системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа составляет 300-500 лк .

Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. Освещение рабочих

поверхностей осуществляется с помощью люминесцентных ламп ЛБ белого света, которые предназначены для помещений с нормальными условиями труда.

При создании расчетных моделей, программировании и работе с текстовыми документами осуществляется ввод данных с клавиатуры, визуальный контроль символьной и графической информации, отображаемой на дисплее, следовательно, для освещения необходимо применение системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 400–500 лк, норма освещенности рабочего места в системе общего освещения — 150–200 лк. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк.

На рабочем месте обычно применяют совмещенное (естественное и искусственное) освещение, причем естественное — в виде бокового. Наиболее благоприятна северная ориентация светопроемов в помещениях. При выполнении работ указанного характера искусственное освещение осуществляется в виде одного общего освещения. В связи с тем, что при работе с ПЭВМ особую роль играет равномерность распределения световой энергии (для исключения частых переадаптаций глаз), светильники общего освещения следует располагать над рабочими поверхностями в равномерно прямоугольном порядке.

Для искусственного освещения помещений следует использовать главным образом люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача (до 120 лм/Вт и более), продолжительный срок службы (до 10000 ч.), малая яркость светящейся поверхности, близкий к естественному спектральный состав излучаемого света, что обеспечивает хорошую светопередачу. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения 50 − 90∘ с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40. Светильники местного

освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40◦. Наиболее приемлемыми являются лампы люминесцентные ЛБ (белого света) и ЛТБ (тепло-белого) мощностью 40 или 80 Вт. Т. к. данное помещение является помещением с нормальными условиями среды, то это позволяет использовать в системе освещения светильники ЛСПО 2 (пыле- и водо-незащищенное исполнение) с люминесцентными лампами ЛХБ 40 Вт со световым потоком 2780 лм по ГОСТ 6825-91.

Электромагнитное излучение

Электромагнитные поля и излучения. ПЭВМ генерирует в окружающее пространство широкий спектр ЭМП различной интенсивности, в том числе: электростатическое поле, переменные низкочастотные ЭМП, электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, ультрафиолетовое (УФ) и рентгеновское излучения ЭЛТ. Кроме того, на рабочем месте пользователя всегда присутствует электромагнитный фон промышленной частоты, обусловленный как ПЭВМ, так и сторонними источниками. Уровни данных излучений не превышают допустимые нормы, но работа за компьютером, особенно длительное время, вредит зрению.

Временные допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПК, не должны превышать значений:

–напряженность электрического поля (в диапазоне частот 5Гц−2кГц) — 25Вт/м;

–напряженность электрического поля (в диапазоне частот 5кГц − 400кГц) — 2.5Вт/м;

–плотность магнитного потока (в диапазоне частот 5Гц − 2кГц) — 250нТл;

–плотность магнитного потока (в диапазоне частот 5кГц − 400кГц) — 25нТл;

–поверхностный электростатический потенциал экрана видеомонитора — 500В. Допустимые уровни излучения регламентированы “Гигиеническими требованиями к видеодисплеям, терминалам, персональным ЭВМ и организации

работы” (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03), введенными с 30.06.03.

Таблица 9. Допустимые значения неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметров	Допустимое значение
Напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность электромагнитного поля по магнитной составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля для взрослых пользователей не должна превышать	20 кВ/м
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: - в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц; - в диапазоне частот 2 - 400 кГц	 25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц; - в диапазоне частот 2 - 400 кГц	 250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

Электробезопасность

По степени поражения людей электрическим током помещение относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку является сухим, нежарким, не пыльным, с нетокопроводящим полом, возможность случайного одновременного прикосновения к токоведущим частям и заземленным

конструкциям присутствует лишь в случае грубейшего нарушения ТБ при техническом обслуживании ЭВМ и ПУ. В связи с этим требуется соблюдение необходимых мер предосторожности, в т. ч. использование средств индивидуальной защиты (при техническом обслуживании оборудования), что закреплено в инструкции по ТБ, в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82.

Электропитание осуществляется от однофазной сети переменного тока номинальным напряжением 220 В и частотой переменного тока 50 Гц с заземленной нейтралью. Предельные отклонения по напряжению и частоте соответствуют ГОСТ 21552-84. Все оборудование имеет предохранители в цепи питания.

При прикосновении в ВЦ к любому из элементов ПЭВМ могут возникнуть разрядные токи статического электричества. Для снижения возникающих статических зарядов в ВЦ покрытие полов следует выполнять из однослойного поливинилхлоридного линолеума. Не рекомендуется носить одежду из синтетических тканей. К общим мероприятиям защиты от статического электричества в ВЦ можно отнести общее и местное увлажнение воздуха (до 50%), ионизацию воздуха.

Методика и приборы контроля параметров среды

Метрологическое обеспечение в области безопасности труда осуществляется на основе положений ГОСТ 12.0.005-84 «Метрологическое обеспечение в области безопасности труда.» Основные положения», системы стандартов безопасности труда, санитарных норм и правил Минздрава РФ и др. Приборы для контроля микроклимата, шума, освещенности, концентрации пыли, сопротивления изоляции приведены в Таблице 8.

Уровень освещенности следует проверять не реже одного раза в год в контрольных точках производственного помещения после очередной чистки светильников и замены перегоревших ламп.

Таблица 10. Характеристики приборов контроля

Измеряемая величина, единица измерений	Доп. погрешность	Рабочие средства измерений			Погрешность измерений
		Тип	Частотный Диапазон	Динамический диапазон	
Температура,°С и отн. влажность воздуха, %	0,2 °С 5,0 %	Психрометр МВ – 4М		35...51 °С 10...100 %	0,1 °С 5 %
Скорость движения Воздуха, м/с	0,1 м/с	Кататер-мометр		0,02...1 м/с	-
Уровень звукового давления, дБ		Шумомер типа	2 – 20000 Гц	25 - 140 дБ	1 дБ
Освещенность, Лк	5 %	Люксметр Ю – 116	0,38 - 0,7 мкм	50 – 100000 лк	20 %
Сопротивление изоляции, МОм	1 %	Мегаом-метр М 110211	-	0 – 200 МОм	1 %