

УДК.: 535.233.52:621.315.1

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Борукеев Туйгун Сабатарович, к.т.н., доцент, Кыргызский Государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: tuigun_kgtu@mail.ru

Козубай Искендер, к.т.н., доцент, Кыргызский Государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: iskan-7@mail.ru

Калматов Улукбек Абдукалыкович, к.т.н., доцент, Кыргызский Государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: ukalmatov@bk.ru

Аннотация. В данной статье приводятся результаты моделирования распределения температуры в упругом теле цилиндрической формы. Численные эксперименты показали, что, зная напряжение и деформацию можно определить теплоту деформации при одноосном растяжении. Рассматривается упругое тело цилиндрической формы. Находятся перемещения, деформация и напряжения экстремальной точки для определения тепловой энергии деформации. Приводятся математические модели процесса растяжения линии передачи из алюминия, алгоритмы и примеры расчёта в MATLAB.

Ключевые слова: Энергия деформации, перемещение, деформированное состояние, температура, механическая нагрузка, линии электропередач.

ЭЛЕКТР ЛИНИЯСЫНДАГЫ ТЕМПЕРАТУРА ГРАДИЕНТТИН БӨЛҮНҮШҮНҮН САНДЫК ЭСЕПТЕРИ

Борукеев Туйгун Сабатарович, т.и.к., доцент, И.Раззаков атындагы КМТУ, Кыргызстан, 720044, Бишкек, Айтматов пр., 66, e-mail: tuigun_kgtu@mail.ru

Козубай Искендер, ф.и.д., доцент, И.Раззаков атындагы КМТУ, Кыргызстан, 720044, Бишкек, Айтматов пр., 66, e-mail: tuigun_kgtu@mail.ru

Калматов Улукбек Абдукалыкович, т.и.к., доцент, И.Раззаков атындагы КМТУ, Кыргызстан, 720044, Бишкек, Ч.Айтматов пр., 66, e-mail: ukalmatov@bk.ru

Аннотация. Бул макалада цилиндр формасындагы ийкемдүү денедегі температуранын таралышын моделдөө жыйынтыктары келтирилген. Сандык эксперименттер көрсөткөндөй, чыңалууну жана штаммды билүү менен бир октук чыңалууда деформациянын жылуулугун аныктоого болот. Цилиндр түрүндөгү ийкемдүү дене каралат. Деформациянын жылуулук энергиясын аныктоо үчүн экстремалдуу чекиттин жылыштары, деформациясы жана чыңалуусу табылган. Алюминийден жасалган электр берүү линиясын созуу процессинин математикалык моделдери, MATLABда алгоритмдер жана эсептөөнүн мисалдары келтирилген.

Негизги сөздөр: Деформация энергиясы, жылыш, деформацияланган абал, температура, механикалык жүктөм, электр линиялары.

THE TEMPERATURE LIMIT, WHICH IS USUALLY CHARACTERIZED BY THE ESTIMATED STATIONARY AND EFFECTIVE SEASONAL CAPACITIES, CALCULATED FOR POOR CONDITIONS

Borukeev Tuigun Sabatarovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66, e-mail: tuigun_kgtu@mail.ru

Kozubay Iskender, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66, e-mail: iskan-7@mail.ru

Kalimatov Ulukbek Abdukalykovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66, e-mail: ukalimatov@bk.ru

Annotation. This article presents the results of modeling the temperature distribution in a cylindrical elastic body. Numerical experiments have shown that knowing the stress and strain, it is possible to determine the heat of deformation under uniaxial tension. An elastic body of cylindrical shape is considered. The displacements, deformation and stresses of the extreme point are found to determine the thermal energy of deformation. Mathematical models of the process of stretching a transmission line from aluminum, algorithms and examples of calculation in MATLAB are given.

Keywords: Strain energy, displacement, deformed state, temperature, mechanical load, power lines.

Введение. Рост мощностей линии электропередачи в воздушных и кабельных линиях электропередачи требует инновационных решений для систематического контроля состояния сетей. Для более эффективного управления системами передачи электроэнергии, токопроводящие линии и элементы постоянно должны работать в пределах нормируемых ГОСТом, но на практике не всегда соблюдается условие работы этих систем. На их работу влияют различные технологические и природные факторы приводящие к физическому старению материалов тем самым ухудшающие общее состояние всей системы.

В связи с этим стоит вопрос поиска более эффективных методов систематического контроля технического состояния линии электропередач направленных на увеличение срока эксплуатации. Так как, главным фактором увеличения пропускной способности и в то же время срока эксплуатации токоведущих частей системы электропередачи является температурный предел, который обычно характеризуется расчетными стационарными и предупредительными сезонными мощностями, рассчитанными на плохие погодные условия.

Установившееся значение температуры нагрева провода электрическим током является важным параметром режима линии электропередачи, определяющим механическую прочность провода и габариты линии.

В настоящее время расчёт установившейся температуры провода выполняется численными методами решения нелинейного дифференциального уравнения теплового баланса. [3]

В нормальных режимах рекомендуется учитывать нормативные сочетания климатических условий.

Провода и опоры линий передачи находятся под воздействием механических сил, которые изменяются в очень широких пределах и имеют вероятностный характер. Например, нагрузка от гололёда на провод в пролёте может изменяться от нуля до нескольких тонн, температура воздуха от +40 до -40°C, ветер может отсутствовать или иметь ураганную силу. В результате в проводах возникают температурные и упругие механические напряжения.

Удельная механическая нагрузка при рассмотрении цилиндрического однородного упругого материала представляет собой распределённую вдоль провода в пролёте механическую нагрузку, отнесённую к единице длины и сечения. При определении удельные нагрузки удобно выражать в Ньютонах, отнесённых к проводу длиной 1 м и сечением 1 мм², или в Па/м, когда длина провода берётся 1м, сечение 1 м².

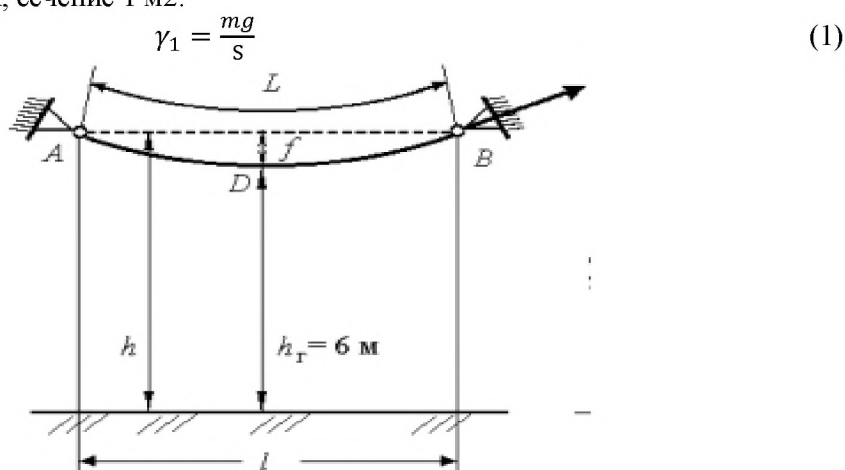


Рис. 1. Воздушная одноцепная линия

Положение любой точки в цилиндрической системе координат задается в виде рисунка 2. Координаты начального состояния задаём в виде:

$$x = \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi, z = h (\rho \geq 0, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, 0 < h < 1) \quad (2)$$

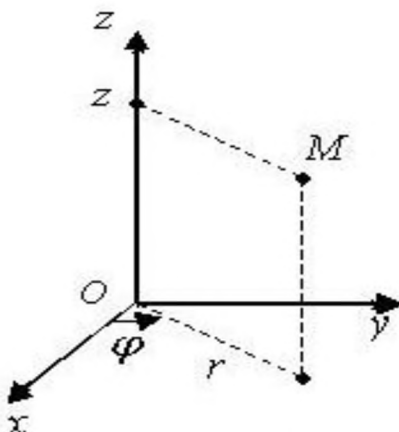


Рис.2. Положение точки в цилиндрической системе координат

При растяжении сплошного цилиндрического тела переменной силой $F(t)$, все точки начинают перемещаться относительно систем координат (рис.3).

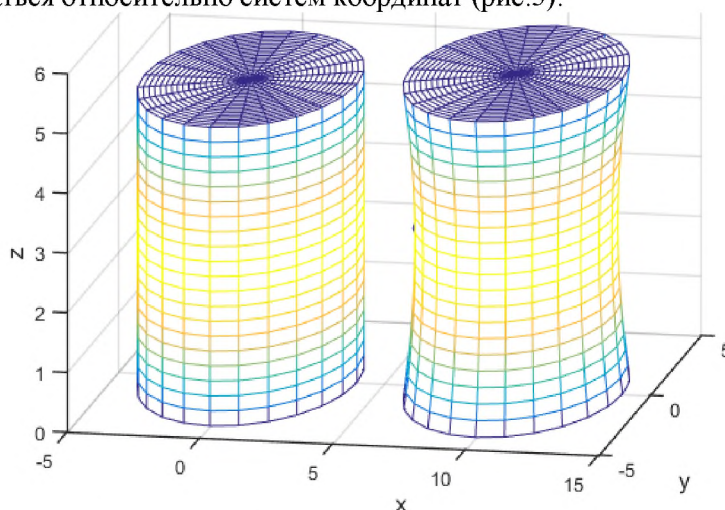


Рис.3. Растяжение алюминиевого образца переменной силой (слева начальное состояние)

Согласно классической теории упругости, тензор перемещения в цилиндрической системе координат запишем в виде формулы (3). Боковые грани цилиндра при растяжении изменяется по квадратичной зависимости. Для этого вводим коэффициенты a_1, a_2 и a_0 . [5]

$$\begin{cases} u_1 = u_0(1) + c(t) \cdot R \cdot \cos(\theta) \cdot (a_2 \cdot z^2 + a_1 \cdot z + a_0) \\ u_2 = u_0(2) + c(t) \cdot R \cdot \sin(\theta) \cdot (a_2 \cdot z^2 + a_1 \cdot z + a_0) \\ u_3 = u_0(3) + c(t) \cdot z \end{cases} \quad (3)$$

где $c(t)$ - коэффициент пропорциональности равной

$$F_{сж} = c(t) \cdot F_i \quad (4)$$

Элементарная работа при одноосном растяжении по горизонтальной оси x определяется как интеграл

$$A_{рас} = \int_0^h F_{рас} \cdot dx \quad (5)$$

В теории деформаций компоненты u_i и ϵ_i считаются малыми и компоненты тензора ϵ_{ij} и вектора u_{ij} связаны формулами Коши, которые имеют вид:

$$\varepsilon_{i,j} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial u_2}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial u_3}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Совместно решая уравнения (3) и (6), получим следующее уравнение:

$$\varepsilon_{i,j} = c(t) \begin{pmatrix} \cos(0) \cdot (a_2 \cdot z.^2 + a_1 \cdot z + a_0) & 0 & 0 \\ 0 & 2 \cos(0) \cdot (a_2 \cdot z.^2 + a_1 \cdot z + a_0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Рассмотрим деформированное состояние цилиндрического тела, тогда работа силы растяжения можно записать в виде:

$$A_{рас} = \int \frac{E}{\pi \cdot R^2} \cdot c(t) \cdot dx \quad (8)$$

Теплота деформации Q и напряжение при одноосном растяжении $\sigma_{i,j}$ связаны следующим образом:

$$Q = \int T \cdot x \cdot \alpha \cdot d\sigma \quad (9)$$

По закону сохранения энергии получим уравнение относительно температуры

$$T = \frac{1}{\pi \cdot R^2 \cdot \alpha} \cdot \frac{\ln(z)}{\ln(E \cdot c(t))} \quad (10)$$

где α - температурный коэффициент расширения упругого материала, R - радиус цилиндра, E - модуль упругости материала.

Окончательную распределения температуры по проводнику рассчитываем с учетом температуры окружающей среды T_0 .

$$T_{общ} = T + T_0 \quad (11)$$

Рассмотрим воздушную линию передачи из алюминия с модулем упругости $E = 70000$ МПа и температурным коэффициентом расширения $\alpha = 0,000024$ град⁻¹.

На рисунках 4, 5, 6 и 7 показаны распределение температуры по объему при различных значениях внешней силы. [8]

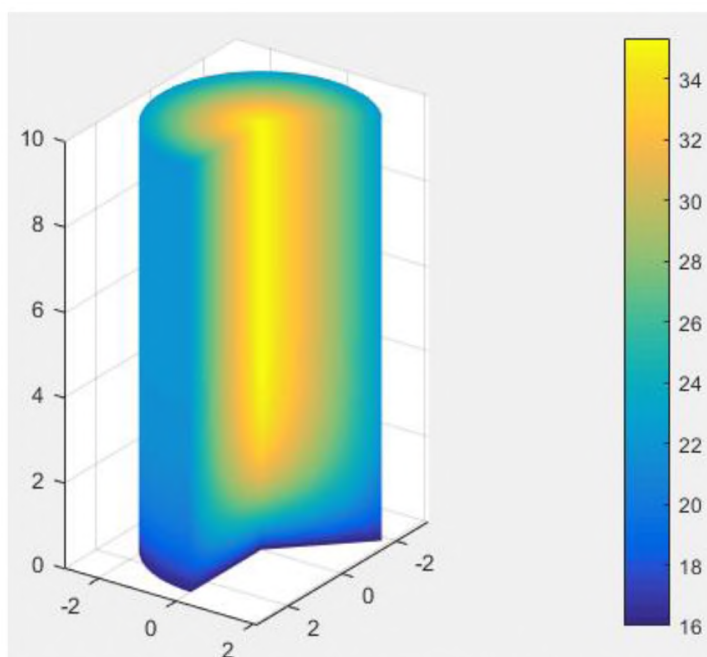


Рис. 4. Растяжение алюминия цилиндрической формы при $F = 0.05 \cdot 10^6$ Н, справа распределение температуры.

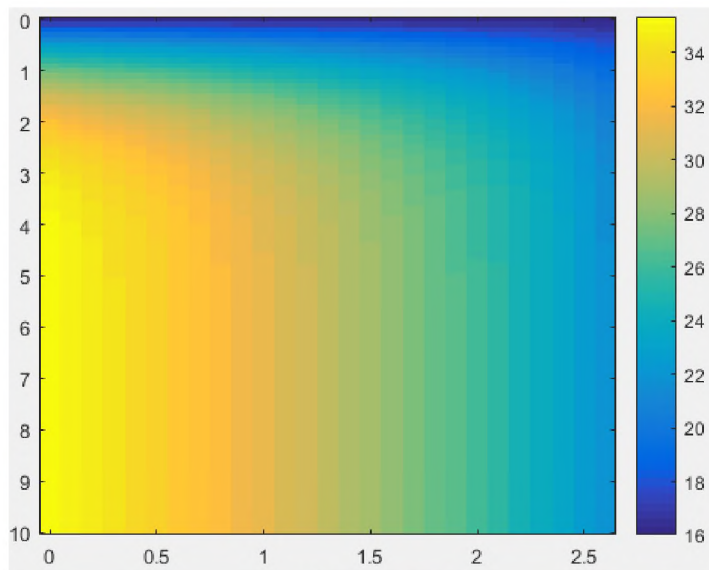


Рис.5. Вид сверху

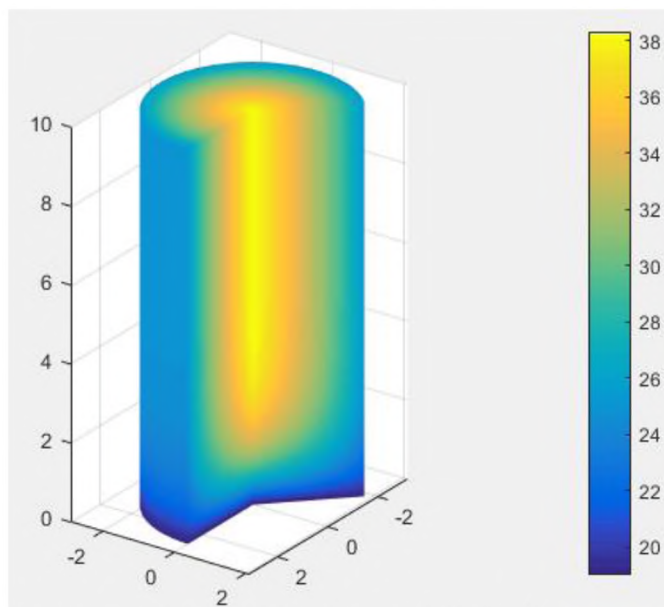


Рис.6. Растяжения алюминия цилиндрической формы при $F=0.06 \cdot 10^6$ Н, справа распределение температуры.

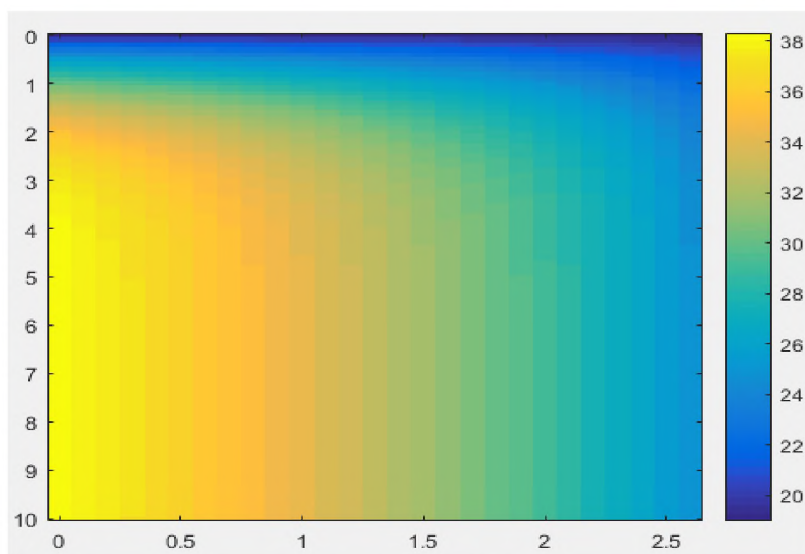


Рис.7. Вид сверху

Аналогичным образом можно получить значения распределения температуры по объёму при различных значениях растягивающей силы и температуры окружающей среды.

Вывод: Данный разработанный алгоритм вычисления распределения температуры по всему объёму металлических проводов цилиндрической формы помогает инженерам при моделировании транспортировки электрической энергии с учетом температуры местности.

Код программы в среде Matlab значительно упрощает инженерные расчеты при моделировании трехмерных упругих цилиндрических конструкций.

Список литературы

1. Электротехнический справочник. Т.2. Электротехнические изделия и устройства. М.: Издательство МЭИ, 1998.
2. Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. М.: ЗАО «Энергосервис», 2000.
3. Электрические системы. Электрические сети: Учебник для электроэнергетических специальностей вузов / Под ред. Веникова В.А., Строева В.А. -2-е изд. М.: Высшая школа, 1998.
4. Пospelов Г.Е., Федин В.Т. Проектирование электрических сетей и систем. Минск: Высшая школа, 1978.
5. Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие / А.Ю. Ощепков. - СПб.: Лань, 2013. - 208 с.
6. Поршнев, С.В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD: Учебное пособие / С.В. Поршнев. - М.: Горячая линия - Телеком, 2015. - 320 с.
7. Поршнев, С.В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD: Учебное пособие / С.В. Поршнев. - М.: Горячая линия -Телеком, 2011. - 320 с.
8. Козубай, И. Численные расчеты математического моделирования вращения конструкций в программной среде matlab: Статья / Известия Кыргызского Государственного технического университета им. И.Раззакова № 1-1 (41). Бишкек, 2017