

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОРЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ

**Напрасников В.В.¹, Бородуля А.В.¹, Чжан Чжэньбан¹, Соловьев А
Н.²**

1). Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;

2). Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
Симферополь, Российская Федерация.

Целью данной работы является сокращение времени проектирования конструкций опор линий электропередач и разработка методики выбора рациональных параметров подобных конструкций.

Для анализа работоспособности конструкции в условиях эксплуатации необходимо решить следующие задачи:

- разработать конечно-элементную модель конструкции,
- провести статический анализ и анализ напряженно-деформированного состояния всей конструкции,
- выполнить модальный анализ,
- выполнить гармонический анализ,
- выполнить поиск оптимальных параметров,
- выполнить проверку устойчивости конструкции при полученных оптимальных параметрах.

При построении модели предварительно была создана ее геометрическая часть с введением параметров, которые в дальнейшем использовались как варьируемые в оптимизационной модели проекта.

Перед выполнением следующего пункта необходимо параметризовать объем и напряжение, которые в дальнейшем будут участвовать в оптимизационной модели. Для этого в дереве решений Model “Geometry” во вкладке “Properties” перед полем “Volume” нажатием по квадратику сделает объем параметрической величиной. Также делается для “Solution” > “Beam Tool” > “Maximum Combined Stress” во вкладке “Results” > “Maximum”. Результат представлен на рисунке 1.

Properties		Results	
<input checked="" type="checkbox"/> Volume	0,88048 m ³	<input type="checkbox"/> Minimum	-3,5191e+007 Pa
<input type="checkbox"/> Mass	7477, kg	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	2,215e+007 Pa
Scale Factor Va...	1,	<input type="checkbox"/> Average	6,2346e+005 Pa
		Minimum Occurs On	MiddleConstruction
		Maximum Occurs On	MiddleConstruction

Рисунок 1. Параметризация выходных параметров

После выполнения оптимизационных вычислений с использованием метода Screening отобраны три лучших варианта, значения параметров в которых представлены на рисунке 2.

При этом установлено, что в рациональном варианте объем конструкции составил 1,3947куб.м. против 1,4432куб.м. в исходном варианте.

Table of Schematic F4: Optimization				
	A	B	C	D
1	Optimization Study			
2	Minimize P9	Goal, Minimize P9 (Default importance)		
3	P8 <= 8E+06 Pa	Strict Constraint, P8 values less than or equals to 8E+06 Pa (Default importance)		
4	Optimization Method			
5	Screening	The Screening optimization method uses a simple approach based on sampling and sorting. It supports multiple objectives and constraints as well as all types of input parameters. Usually it is used for preliminary design, which may lead you to apply other methods for more refined optimization results.		
6	Configuration	Generate 1000 samples and find 3 candidates.		
7	Status	Converged after 1000 evaluations.		
8	Candidate Points			
9		Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
10	P2 - LengthOfBottom (m)	0,15868	0,171	0,1622
11	P3 - WidthOfBottom (m)	0,18238	0,17949	0,19512
12	P4 - WidthOfMiddle (m)	0,11311	0,14246	0,16304
13	P5 - LengthOfMiddle (m)	0,14773	0,12808	0,12149
14	P6 - WidthOfUp (m)	0,039044	0,031289	0,057819
15	P7 - LengthOfUp (m)	0,099614	0,095091	0,095617
16	P8 - Maximum Combined Stress Maximum (Pa)	★★★ 7,7263E+06	★★★ 7,4771E+06	★★★ 7,7444E+06
17	P9 - Geometry Volume (m^3)	— 1,3947	— 1,433	× 1,5108

Рисунок 2. Результаты оптимизации.

Поскольку конструкция изменила свои характеристики, необходимо выполнить дополнительную проверку устойчивости при новых параметрах.

На рисунке 3 слева представлена конечно-элементная расчетная схема с заданными силовыми и кинематическими нагружениями.

Силовые нагружения собирались с учетом обледенения, ветровых нагрузок, веса собственной конструкции и подвешенных проводов. Рассчитанная ветровая нагрузка округленно равна 5000Н и прикладывается к каждой из четырёх точек, в направлении оси ОУ.

Полученный запас по устойчивости при потере устойчивости по первой форме составляет боле 10, что подтверждает приемлемость выбираемого рационального варианта конструкции.

B: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

12.02.2026 13:43

A Standard Earth Gravity: 9,8066 m/s²

B Fixed Support

C Force: 20000 N

D Travers. 4

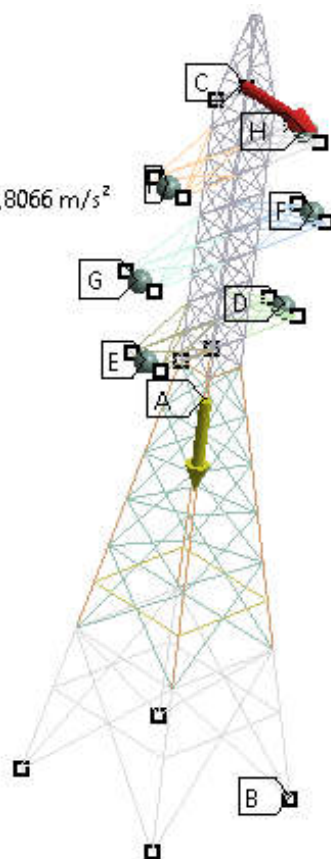
E Travers. 1

F Travers. 3

G Travers. 6

H Travers. 2

I Travers. 5



C: Eigenvalue Buckling

Total Deformation

Type: Total Deformation

Load Multiplier (Linear): -13,727

Unit: m

12.02.2026 13:40

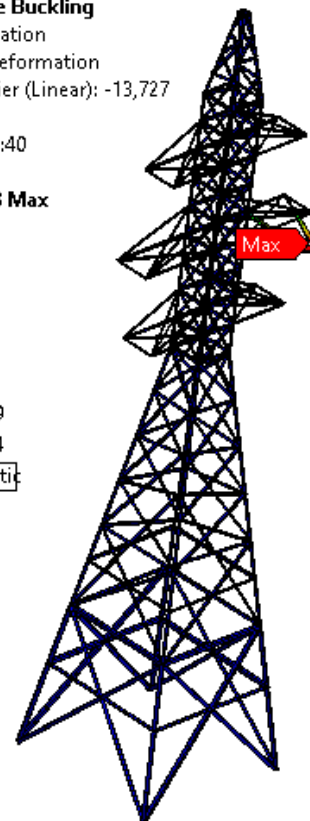
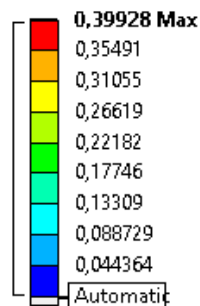


Рисунок 3. Расчетная конечно-элементная схема (слева) и первая форма потери устойчивости (справа)

Вывод.

В результате выполнения работы разработана конечно-элементная модель конструкции, проведен статический анализ и анализ напряженно-деформированного состояния всей конструкции, выполнен модальный анализ, выполнен гармонический анализ, найдены оптимальные параметры в соответствии с формулировкой оптимизационной задачи, при этом установлено, что в рациональном варианте объем конструкции составил 1,3947куб.м. против 1,4432куб.м. в исходном варианте, проверена устойчивость конструкции при полученных оптимальных параметрах.