

УДК 624.042:621.315.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЬНЫХ  
МНОГОГРАННЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ГОРОДА  
ПЕНЗА**

*Евсеев Александр Евгеньевич,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».*

*Евсеев Илья Александрович,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г. Пенза,*

*студент.*

**Аннотация**

В статье описан порядок расчета стальных консольных опор линий электропередач на примере существующей в настоящий момент электросети города Пенза. Особое внимание отведено процедуре сбора нагрузок от климатических воздействий. Проведен анализ несущей способности и сделаны выводы о возможности эксплуатации опор с различными вариантами размещения проводов.

**Ключевые слова:** стальные опоры линий электропередач, линии передачи данных, нагрузки, расчет прочности.

**STUDY OF BEARING CAPACITY OF STEEL POLYFACE SUPPORTS OF  
POWER TRANSMISSION LINES OF THE CITY OF PENZA**

*Evseev Alexander Evgenievich,*

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Mechanics”.*

*Evseev Ilya Alexandrovich,*

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*student.*

## **Abstract**

The article describes the procedure for calculating steel cantilever supports for power transmission lines using the example of the current power grid of the city of Penza. Particular attention is paid to the procedure for assembly loads from climatic impacts. An analysis of the capabilities is carried out and conclusions are drawn about the options for placing wires.

**Keywords:** reinforced concrete poles for power lines, data lines, loads, strength calculation.

До недавнего времени опор линий электропередач внутри городской черты использовались лишь для установки на них приборов уличного освещения, а также повеса токопроводов передачи и распределения электроэнергии. В настоящий момент, в связи с развитием сетей передачи данных, возникает необходимость в прокладке волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) предназначенных для передачи информации в оптическом диапазоне. При этом каждая организация, предоставляющая услуги широкополосного доступа к сети Интернет, должна прокладывать свою ВОЛС к пользователю. Для установки на опорах линий электропередач дополнительных проводов необходимо получить одобрение организации-собственника опор – «Пензенской горэлектросети». Поскольку провода и оборудование ВОЛС являются добавленной нагрузкой возникли опасения за несущую способность опор линий электропередач. По этой причине представители названной организации обратились в Пензенский государственный университет архитектуры и строительства с просьбой оценить несущую способность нескольких опор, наиболее характерных с точки зрения подвеса на них проводов.

Целью проведения исследования являлось составление выводов о состоянии промежуточных и анкерных опор линий электропередач по улице Урицкого города Пенза и возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации. Исследование было выполнено в соответствии с действующей нормативной и справочной литературой.

Фотографии опор приведены на рис. 1.



Рисунок 1 - Опоры линий электропередач

Приведенный расчет был выполнен для – г. Пенза. Согласно [2], г. Пенза относится к III снеговому району с нормативным значением снеговой нагрузки

$s_g=150 \text{ кг/м}^2=1.5 \text{ кПа}$ , к III гололедному району с толщиной стенки гололеда  $b=10 \text{ мм}$  и к II ветровому району с нормативным значением ветрового давления  $w_0=30 \text{ кг/м}^2=0.3 \text{ кПа}$ .

Расчет опор проведен для нормальных режимов работы при необорванных проводах и отсутствии воздействий, возникающих при сейсмических явлениях, температурных перепадах и токах короткого замыкания. В соответствии с указаниями п. 2.4.4 [1] механический расчет ВЛ до 1 кВ в аварийном режиме не производится.

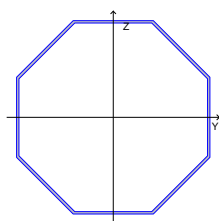
#### Определение физико-механических характеристик материала опоры

В соответствии с паспортом «Опора граненная силовая ОГС 0,7-10 АСК.302.00-6.000.00 оцинк.» опора представляет собой правильную усеченную восьмигранную пирамиду высотой 10 м. В верхнем сечении расстояние между параллельными гранями составляет 150 мм, в нижнем сечении 310 мм. Толщина граней 4 мм. Материал - листовой прокат по ГОСТ 27772-88. Марка стали 09Г2С. По таблице 2 ГОСТ 17066-80 принимаем временное сопротивление стали  $\sigma_B=490 \text{ Н/мм}$ , предел текучести  $\sigma_{0.2}=345 \text{ Н/мм}$ , относительное удлинение после разрыва  $\delta=20\%$ , что соответствует стали С345.

#### Определение геометрических характеристик поперечного сечения опоры

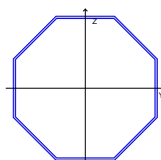
Геометрические характеристики сечений на отметках 0.000, +5.000 и +10.000 (за отметку 0.000 принята отметка низа опоры) вычислим, используя программу «Консул» входящую в состав пакета SCAD Office+. Полученные результаты сведены в табл. 1.

а) на отм. 0.000.



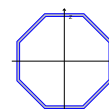
габариты 0.314 x 0.314 м

б) на отм. +5.000.



габариты 0.234 x 0.234 м

в) на отм. +10.000.



габариты 0.154 x 0.154 м

Таблица 1 - Геометрические характеристики сечений опоры

	Характеристика	Значение на отм.			Ед. изм.
		0.000	+5.000	+10.000	
A	Площадь поперечного сечения	42.32	28.7	20.48	см <sup>2</sup>
I <sub>y</sub>	Момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y	5370.301	2005.256	609.014	см <sup>4</sup>
I <sub>t</sub>	Момент инерции при свободном кручении	10317.127	3784.431	1148.203	см <sup>4</sup>
i <sub>y</sub>	Радиус инерции относительно оси Y1	11.265	8.359	5.453	см
W <sub>u+</sub>	Момент сопротивления относительно оси U	342.057	171.389	79.093	см <sup>3</sup>
a <sub>u+</sub>	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	8.083	5.972	3.862	см
I <sub>p</sub>	Полярный момент инерции	10740.602	4010.512	1218.027	см <sup>4</sup>
i <sub>p</sub>	Полярный радиус инерции	15.931	11.821	7.712	см
W <sub>p</sub>	Полярный момент сопротивления	632.085	317.128	146.073	см <sup>3</sup>

Определение расчетных нагрузок на опоры ВЛ

Массы проводов, размещенных на опорах и их диаметры:

- провод СИП2-(3x50+1x54,6) (Ø35 мм) – 1 км провода 775,93 кг;
- провод СИП2-(3x35+1x54,6+1x25) (Ø32 мм) – 1 км провода 830,74 кг;
- провод СИП2-(3x35+1x54,6) (Ø32 мм) – 1 км провода 735,31 кг;
- провод СИП2-(4x25) (Ø21 мм) – 1 км провода 389,0 кг;
- провод СИП2-(4x16) (Ø18 мм) – 1 км провода 269,0 кг;
- волоконно-оптический кабель ОКСН-16 (Ø8 мм) – 1 км провода 200 кг.

Габаритный пролет  $l_2$  по заданию на проектирование принят равным действительному пролету между опорами. Длины пролетов указаны на чертеже поопорной схемы ВЛ-0,4 кВ от РП-15, приведенной на рис. 2÷3. При проектировании промежуточных опор и фундаментов, не привязанных к конкретным условиям их установки (типовых, унифицированных и т.п.), длину весового пролета рекомендуется принимать равной 1,25 длины габаритного пролета  $l_{вес} = 1,25 * l_2$ , длину ветрового пролета рекомендуется принимать равной длине габаритного пролета  $l_{вет} = l_Г$ .

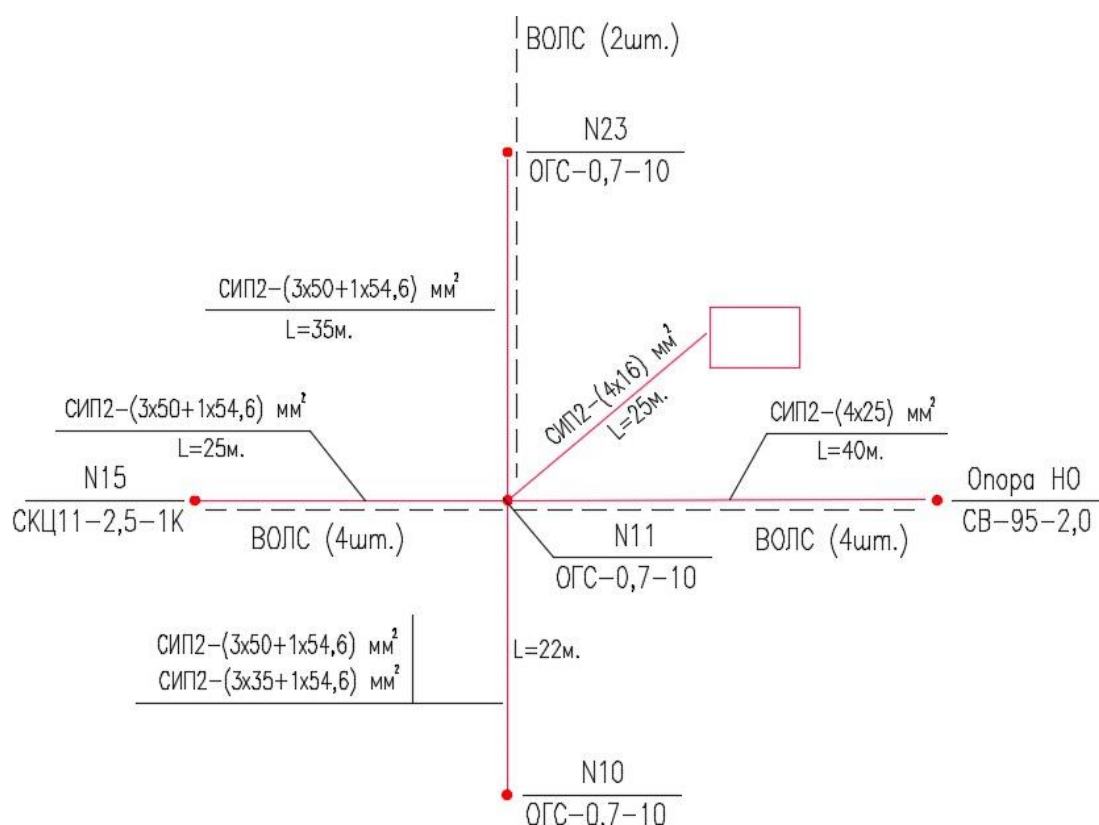


Рисунок 2 - Схема крепления проводов к опоре №1

Климатические нагрузки, собраны в соответствии с главой 2.5 [1] аналогично [4], указаны в табл. 2÷6. Все условные обозначения в таблицах аналогичны приведенным в [1].

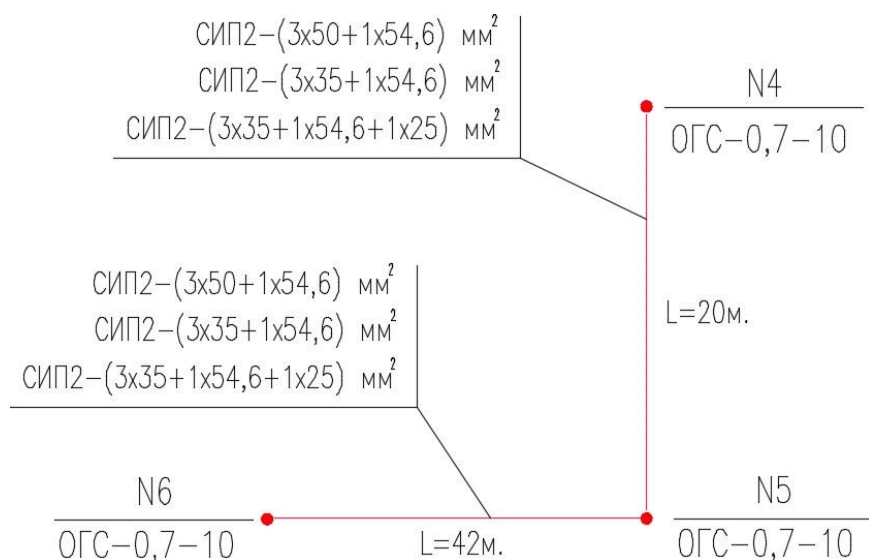


Рисунок 3 - Схема крепления проводов к опоре №5

Таблица 2 - Нормативная ветровая нагрузка на провода

Тип провода	$l$ , м	Диаметр, мм	$K_d$	$F$ , м <sup>2</sup>	$P_w^H$ , Н
СИП2-(3x50+1x54,6)	20	35	0.8	0.86	161
	22	35	0.8	0.946	178
	25	35	0.8	1.075	202
	35	35	0.8	1.505	282
СИП2-(3x35+1x54,6+1x25)	20	32	0.8	0.8	150
	42	32	0.8	1.68	315
СИП2-(3x35+1x54,6)	20	32	0.8	0.8	150
	22	32	0.8	0.88	165
	42	32	0.8	1.68	315
СИП 2А 4Х25	40	21	0.9	1.2	225
СИП 2А 4Х16	25	18	0.9	0.675	127
ОКСН-16	25	8	1.0	0.45	85
	35	8	1.0	0.63	118
	40	8	1.0	0.72	135
Для всех проводов принято: $W=W_2=200$ Па, $\alpha_w=1.0$ , $K_i=1.0$ , $K_w=0.65$ , $C_x=1.2$ , $K_i=1.0$ , $b_y=20$ мм, $l_{вет}=30$ м					

Таблица 3 - Линейная гололедная нагрузка на 1 м провода

Тип провода	Диаметр, мм	$K_d$	$P_{\Gamma}^H$ , Н/м	$P_{\Gamma, \text{лп}}$ , Н/м
СИП2-(3x50+1x54,6)	35	0.8	4.33	3.47
СИП2-(3x35+1x54,6+1x25)	32	0.8	4.00	3.20
СИП2-(3x35+1x54,6)	32	0.8	4.00	3.20
СИП 2А 4Х25	21	0.9	3.18	2.55
СИП 2А 4Х16	18	0.9	2.81	2.25
ОКСН-16	8	1	1.81	1.45
Для всех проводов принято: $K_i=1.0$ , $b_3=5$ мм, $\rho=0,9$ г/см <sup>3</sup> , $g=9,8$ м/с <sup>2</sup>				

Таблица 4 - Ветровая нагрузка на провода

Тип провода	$l$ , м	Диаметр, мм	$P_w^H$ , Н	$P_w^{p1}$ , Н	$P_w^{p2}$ , Н
СИП2-(3x50+1x54,6)	20	35	161	210	178
	22	35	178	232	196
	25	35	202	263	223
	35	35	282	367	311
СИП2-(3x35+1x54,6+1x25)	20	32	150	195	165
	42	32	315	410	347
	СИП2-(3x35+1x54,6)	20	32	150	195
	22	32	165	215	182
	42	32	315	410	347
СИП 2А 4Х25	40	21	225	293	248
СИП 2А 4Х16	25	18	127	166	140
ОКСН-16	25	8	85	111	94
	35	8	118	154	130
	40	8	135	176	149



Таблица 5 - Гололедная нагрузка, приложенная к точкам крепления на опорах

Тип провода	$l$ , м	Диаметр, мм	$F_{г}^H$ , Н	$F_{г.лб}$ , Н
СИП2-(3x50+1x54,6)	25	35	108.3	86.8
	27.5	35	119.1	95.4
	31.25	35	135.3	108.4
	43.75	35	189.4	151.8
СИП2-(3x35+1x54,6+1x25)	25	32	100.0	80.0
	52.5	32	210.0	168.0
СИП2-(3x35+1x54,6)	25	32	100.0	80.0
	27.5	32	110.0	88.0
	52.5	32	210.0	168.0
СИП 2А 4Х25	50	21	159.0	127.5
СИП 2А 4Х16	31.25	18	87.8	70.3
ОКСН-16	31.25	8	56.6	45.3
	43.75	8	79.2	63.4
	50	8	90.5	72.5

Таблица 6 - Нагрузка от веса проводов, приложенная к точкам крепления на опорах

Тип провода	$l$ , м	Диаметр, мм	$F_n^P$ , Н
СИП2-(3x50+1x54,6)	25	35	213.4
	27.5	35	234.7
	31.25	35	266.7
	43.75	35	373.4
СИП2-(3x35+1x54,6+1x25)	25	32	228.5
	52.5	32	479.8
СИП2-(3x35+1x54,6)	25	32	202.2

Тип провода	$l$ , м	Диаметр, мм	$F_n^p$ , Н
	27.5	32	222.4
	52.5	32	424.6
СИП 2А 4Х25	50	21	214.0
СИП 2А 4Х16	31.25	18	92.5
ОКСН-16	31.25	8	68.8
	43.75	8	96.3
	50	8	110.0

### Расчет несущей способности опоры

В соответствии с п. 2.4.53 [1] опоры ВЛ должны рассчитываться по первому и второму предельному состоянию в нормальном режиме работы ВЛ на климатические условия. Промежуточные опоры должны быть рассчитаны на следующие сочетания нагрузок:

I. одновременное воздействие поперечной ветровой нагрузки на провода, свободные или покрытые гололедом, и на конструкцию опоры, а также нагрузки от тяжения проводов ответвлений к вводам, свободных от гололеда или частично покрытых гололедом;

II. на нагрузку от тяжения проводов ответвлений к вводам, покрытых гололедом, при этом допускается учет отклонения опоры под действием нагрузки;

III. на условную расчетную нагрузку, равную 1,5 кН, приложенную к вершине опоры и направленную вдоль оси ВЛ.

Расчет выполняется с учетом предельных состояний первой группы (прочность) для расчетных сочетаний усилий, выбираемых в зависимости от заданных расчетных нагрузок в соответствии с требованиями [2] и [3].

По результатам расчета были сделаны следующие **выводы**:

1. Опора №11 в настоящее время несущая СИП2-(3x50+1x54,6) (22+25+35 м), СИП2-(3x35+1x54,6) (22 м), СИП 2 4Х25 (40 м), СИП 2 4Х16 (25 м) и ОКСН-16 (40 м-4 шт., 35 м-2 шт. и 25 м-4 шт.), загружена на 21,9 % своей

несущей способности.

2. Опора №5 в настоящее время несущая СИП2-(3x50+1x54,6) (20+42 м), СИП2-(3x35+1x54,6) (20+42 м) и СИП2-(3x35+1x54,6+1x25) (20+42 м), загружена на 109,2 % своей несущей способности. Таким образом, размещение дополнительных проводов воздушной линии ВЛ-0,4 кВ (СИП) и/или проводов ОКСН на опоре №5 неизбежно приведет к дальнейшей перегрузке опоры, т.е. к возможному её отказу (разрушению).

### **Библиографический список:**

1. СО 153-34.20.120-2003. «ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7».

2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 \*. М.: ОАО ЦПП, 2011.

3. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменениями № 1, 2). М.: Стандартинформ, 2017.

4. Евсеев А.Е., Евсеев И.А. Исследование несущей способности железобетонных призматических опор линий электропередач города Пенза [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2020. №12. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no12/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/12.9/at\\_download/file](http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no12/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/12.9/at_download/file)