

Напряженно-деформированное состояние металлических конструкций сооружений электросетевого хозяйства при действии различных видов нагрузок

Э.Ю. Абдуллазянов¹, Л.С. Сабитов^{1,2,4}, М.М. Айзатуллин¹,
В.А. Гарькина^{3,4}, К.Г. Адушкин⁵

¹ Казанский государственный энергетический университет,

² Московский государственный строительный университет,

³ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет),

⁴ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

⁵ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Аннотация: Анализируется методика определения напряженно-деформированного состояния металлических опор линий электропередач при технической экспертизе объектов электросетевого хозяйства. Дается пример расчета с использованием автоматического программного комплекса ЛИРА. Определяются наиболее напряженные участки конструкций. Расчётным способом подтверждается гипотеза о том, что трехгранное поперечное сечение траверсы порталной промежуточной опоры ВЛ 500 кВ экономичнее (эффективнее), чем четырехгранное (классическое) поперечное сечение.

Ключевые слова: строительные конструкции, металлические конструкции, объекты энергетики, напряженно-деформированное состояние, техническая экспертиза.

Система электросетевого хозяйства относится к элементам критической инфраструктуры нашей страны. Соответственно, определение реального технического состояния является актуальной задачей. В настоящей работе рассмотрим на реальном примере определение напряженно-деформированного состояния опор линий электропередач (рис.1).

Уровень ответственности сооружения – повышенный. Коэффициент надежности по ответственности – 1,1. Нормативное давление ветра W_0 на высоте 10 м над поверхностью земли принято 500 Па (рис.2), II район, тип местности А. В гололедном режиме нормативное ветровое давление принято 160 Па. Нормативная толщина стенки гололёда b_0 для высоты 10 м над поверхностью земли принята 15 мм, II район. Для районов по гололёду до IV при высоте опор менее 50 м гололедные отложения на опорах не учитываются. Значение регионального коэффициента по гололеду – 1,0 [1,2].

Вес гололеда на проводах, ветровая нагрузка на провод/трос при гололеде и без гололеда, напряжения внутри проводов/тросов при возможных режимах работы определены в результате мехрасчета проводов и троса. Расчеты выполнены в 2-ух программных комплексах: Лира-Сапр и Лира-Софт. В процессе обследования была обнаружена поверхностная коррозия элементов (без уменьшения поперечного сечения профилей) – в расчетах уменьшение поперечного сечения не учитывалось [3,4].

Расчеты выполнены на проектируемые нагрузки в результате переустройства линии. Существующие нагрузки в проводах/тросах определены эксплуатирующей организацией. Проектируемые нагрузки в проводах/тросах определены, исходя из проектных решений, предоставленных заказчиком, схема расположения опор, в том числе, с демонтируемой опорой и установкой новых, продольный профиль.

Для расчетов выбраны направления ветрового потока под углом 45° к грани опоры для выявления неблагоприятных сочетаний усилий.



Рис.1
Обследуемая
конструкция
(фото
авторов)

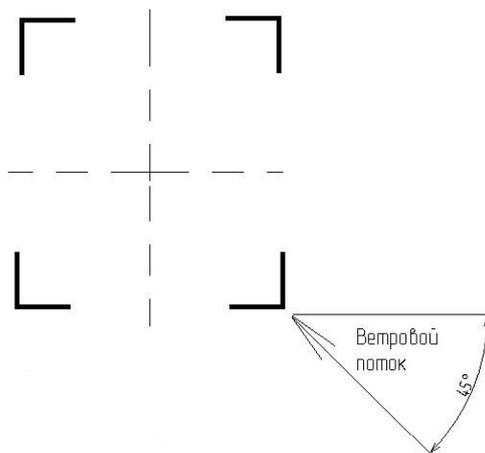


Рис. 2. Схема приложения ветрового потока при расчете конструкции

Нормативная ветровая нагрузка на конструкцию опоры определяется как сумма средней и пульсационной составляющих. Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки на рассматриваемую часть конструкции:

$$Q_{сн} = K_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 1 \cdot 500 \cdot 1,02 \cdot 67,5 = 34425 \text{ Н}$$

где, K_w – принимаем равным 1; W – равно 500 Па; A – площадь проекции, ограниченная контуром рассматриваемой части конструкции с наветренной стороны на плоскость перпендикулярно ветровому потоку, вычисленная по наружному габариту, $67,5 \text{ м}^2$;

C_x – аэродинамический коэффициент, находится по формуле:

$$C_x = C_{x1} \cdot (1 + \eta) \cdot k_1 = 0,58 \cdot (1 + 0,46) \cdot 1,2 = 1,02;$$

где, η – принимаем равным 0,46;

k_1 – принимаем равным 1,2;

$$C_{x1} = \sum C_{xi} \cdot A_i / A_k = 1,4 \cdot 27,7 / 67,5 = 0,58.$$

где, C_{xi} – аэродинамический коэффициент элементов конструкций, равный 1,4 для профилей;

A_i – площадь проекции всех элементов рассматриваемого участка конструкции, $27,7 \text{ м}^2$;

A_k – площадь, ограниченная контуром рассматриваемого участка конструкции, $67,5 \text{ м}^2$.

Определение площади проекции всех элементов рассматриваемого участка конструкции:

$$A_i = A_1 + A_2 = 27,7 \text{ м}^2,$$

где, A_1 – площадь проекции уголков 100×10 , $180 \cdot 0,1 = 18 \text{ м}^2$;

A_2 – площадь проекции уголков 50×5 , $194,6 \cdot 0,05 = 9,73 \text{ м}^2$.

Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки $Q_{сн}$ для свободностоящих порталных стальных опор до 50 м принимается:

$$Q_{пн} = 0,6 \cdot Q_{сн} = 0,6 \cdot 34425 = 20655 \text{ Н}.$$

Расчётная ветровая нагрузка находится по формуле

$$Q_p = (Q_{пн} + Q_{сн}) \cdot \gamma_{пв} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = (34425 + 20655) \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 78764 \text{ Н}$$

Где, $\gamma_{пв}$ – коэффициент надёжности по ответственности, 1 при ВЛ до 220кВ, 1,1 при выше 330кВ;

При назначении нагрузок на узлы расчетной схемы, данные нагрузки будут преумножены на значения \cos/\sin угла 45° ветрового потока к грани опоры.

Собственный вес несущих конструкций добавлен на расчетную схему с помощью программного комплекса ЛИРА-САПР/ЛИРА-СОФТ с учетом коэффициента надёжности 1,05 и коэффициента ответственности 1,1 [5,6].

Выполним определение нагрузок на конструкции. Вертикальная нагрузка от веса провода (без гололеда):

Со стороны опоры №1203:

$$G_{пр} = ((l_{габ. пролет} \cdot g_{пр} \cdot \gamma_f) \cdot 3 + (g_{изол.} \cdot \gamma_f) \cdot 3) \cdot \gamma_n = ((355/2 \cdot 1,827 \cdot 1,05) \cdot 3 + (180 \cdot 1,05) \cdot 3) \cdot 1,1 = 1747 \text{ кг} = 17470 \text{ Н}$$

Со стороны опоры №1205:

$$G_{пр} = ((l_{габ. пролет} \cdot g_{пр} \cdot \gamma_f) \cdot 3 + (g_{изол.} \cdot \gamma_f) \cdot 3) \cdot \gamma_n = ((285/2 \cdot 1,827 \cdot 1,05) \cdot 3 + (180 \cdot 1,05) \cdot 3) \cdot 1,1 = 1525 \text{ кг} = 15250 \text{ Н}$$

Вертикальная нагрузка от веса провода с гололедом:

Со стороны опоры №1203:



$$G_{\text{пр + гол}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f) \cdot 3 \cdot \gamma_n + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f) \cdot 3 \cdot \gamma_n + (l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{гололед}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \text{ по гололеду} \cdot \gamma_d) \cdot 3) = 1747 + (355/2 \cdot 1,917 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1) \cdot 3 = 3472 \text{ кг} = 34720 \text{ Н}$$

$$G_{\text{пр + гол}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f) \cdot 3 \cdot \gamma_n + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f) \cdot 3 \cdot \gamma_n + (l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{гололед}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \text{ по гололеду} \cdot \gamma_d) \cdot 3) = 1525 + (285/2 \cdot 1,917 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1) \cdot 3 = 2909 \text{ кг} = 29090 \text{ Н}$$

Горизонтальная нагрузка от тяжения:

В ветровом режиме.

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 5,82 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 13525 \text{ кг} = 135250 \text{ Н}$$

Со стороны опоры №1205:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 5,49 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 12758 \text{ кг} = 127580 \text{ Н}$$

В гололедном режиме:

Со стороны опоры №1203:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 8 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 18591 \text{ кг} = 185910 \text{ Н}$$

Со стороны опоры №1205:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 8 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 18591 \text{ кг} = 185910 \text{ Н}$$

В аварийном режиме:

Со стороны опоры №1203:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 6,24 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 14501 \text{ кг} = 145010 \text{ Н}$$

Со стороны опоры №1205:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot 3 = 5,5 \cdot 541,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 3 = 12781 \text{ кг} = 127810 \text{ Н}$$

$$F_{\text{ветер}} = l_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_4 \cdot 3 = 355/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,179 \cdot 3 = 897 \text{ кг} = 8970 \text{ Н}$$

$$F_{\text{ветер}} = l_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_4 \cdot 3 = 285/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,179 \cdot 3 = 720 \text{ кг} = 7200 \text{ Н}$$

В гололедном режиме:

$$F_{\text{ветер}} = l_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_5 \cdot 3 = 355/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,867 \cdot 3 = 660 \text{ кг} = 6600 \text{ Н}$$



$$F_{\text{ветер}} = l_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_5 \cdot 3 = 285/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,867 \cdot 3 = 530 \text{ кг} = 5300 \text{ Н}$$

Нагрузки от троса. Вертикальная нагрузка от веса троса (без гололеда):

$$G_{\text{пр}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f) + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f)) \cdot \gamma_n = ((355/2 \cdot 0,627 \cdot 1,05) + (0 \cdot 1,05)) \cdot 1,1 = 128 \text{ кг} = 1280 \text{ Н}$$

$$G_{\text{пр}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f) + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f)) \cdot \gamma_n = ((285/2 \cdot 0,627 \cdot 1,05) + (0 \cdot 1,05)) \cdot 1,1 = 103 \text{ кг} = 1030 \text{ Н}$$

Вертикальная нагрузка на металл-ии от веса троса с гололедом:

$$G_{\text{пр} + \text{гол}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f \cdot k_{\text{весовой пролет}}) \cdot \gamma_n + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f) \cdot \gamma_n + (l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{гололед}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \text{ по гололеду} \cdot \gamma_d)) = 128 + (355/2 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1) = 457 \text{ кг} = 4570 \text{ Н}$$

$$G_{\text{пр} + \text{гол}} = ((l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f \cdot k_{\text{весовой пролет}}) \cdot \gamma_n + (g_{\text{изол.}} \cdot \gamma_f) \cdot \gamma_n + (l_{\text{габ. пролет}} \cdot g_{\text{гололед}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \text{ по гололеду} \cdot \gamma_d)) = 103 + (285/2 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1) = 367 \text{ кг} = 3670 \text{ Н}$$

Горизонтальная нагрузка от тяжения. В ветровом режиме:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 20,98 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 2188 \text{ кг} = 21880 \text{ Н}$$

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 18,1 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1888 \text{ кг} = 18880 \text{ Н}$$

В гололедном режиме:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 30 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 3129 \text{ кг} = 31290 \text{ Н}$$

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 30 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 3129 \text{ кг} = 31290 \text{ Н}$$

В аварийном режиме:

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 20,25 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 2112 \text{ кг} = 21120 \text{ Н}$$

$$T = \sigma \cdot S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 14,68 \cdot 72,95 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1531 \text{ кг} = 15310 \text{ Н}$$

Горизонтальная нагрузка от ветра. В ветровом режиме. Со стороны опоры №1203:

$$F_{\text{ветер}} = l_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_4 = 355/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 152 \text{ кг} = 1520 \text{ Н}$$

$$F_{\text{ветер}} = I_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_4 = 285/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 122 \text{ кг} = 1220 \text{ Н}$$

В гололедном режиме.

$$F_{\text{ветер}} = I_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_5 = 355/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,76 = 192 \text{ кг} = 1920 \text{ Н}$$

$$F_{\text{ветер}} = I_{\text{габ. пролет}} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_{\text{nw}} \cdot \gamma_p \cdot p_5 = 285/2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,76 = 154 \text{ кг} = 1540 \text{ Н.}$$

После определения нагрузок, была создана расчетная схема сооружения и применены различные сочетания нагрузок (рис. 3,4).

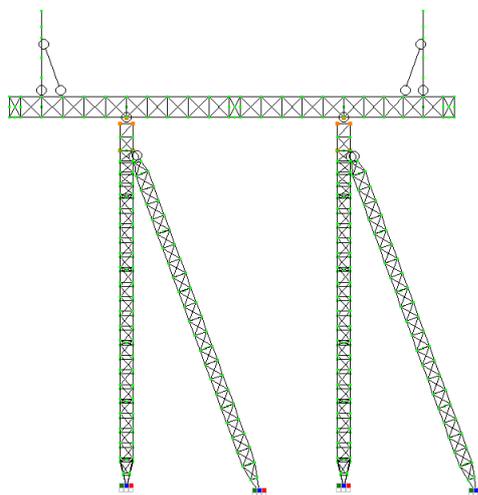


Рис. 3 Расчетная схема в ПК ЛИРА-САПР

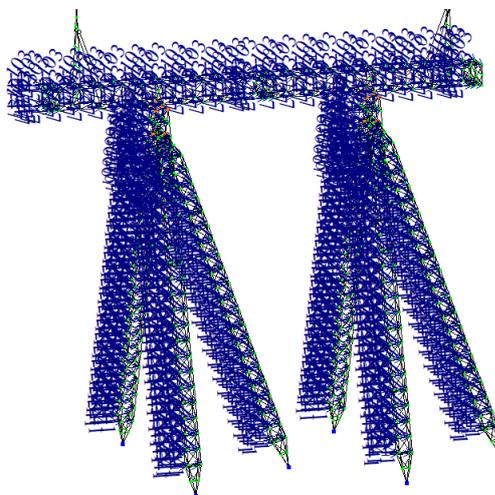


Рис. 4. Расчетная схема (с приложенной ветровой нагрузкой на металлоконструкции опоры для гололедного режима (160 Па))

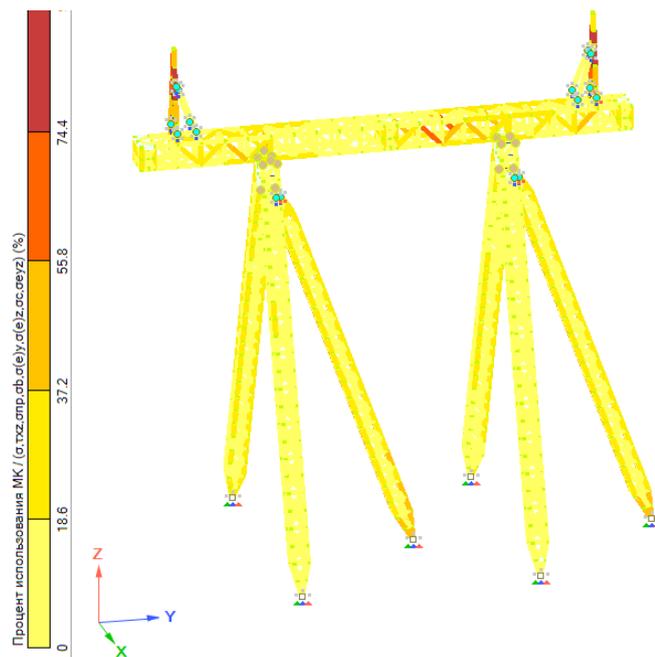


Рис.5. Мозаика результатов проверки сечений по первому предельному состоянию в ПК ЛИРА-СОФТ

Результаты расчетов представлены в таблицах 1,2.

Табл.1 Результаты расчетов в ПК ЛИРА-САПР

Наименование конструкции	Процент исчерпания несущей способности	Примечание
1	2	3
Стойки и подкосы	До 45% - при проверке по первому предельному состоянию	Запас не менее 55%
Ферма (траверса)	До 67% - при проверке по первому предельному состоянию (общая устойчивость)	Запас не менее 33%
Тросостойка	До 93% - при проверке по первому предельному состоянию	Запас не менее – 7%

Табл.2 Результаты расчетов в ПК ЛИРА-СОФТ

Наименование конструкции	Процент исчерпания несущей способности	Примечание
1	2	3
Стойки и подкосы	До 45% - при проверке по первому предельному состоянию	Запас не менее 55%
Ферма (траверса)	До 66% - при проверке по первому предельному состоянию (общая устойчивость)	Запас не менее 34%
Тросостойка	До 93% - при проверке по первому предельному состоянию	Запас не менее – 7%

В результате проведенных расчетов было доказано следующее:

– использование программного комплекса ЛИРА (или его аналог) даёт наиболее объективную оценку состояния строительных конструкций объектов электросетевого хозяйства;

– наиболее нагруженным элементом в металлических конструкциях является «Тросостойка» (с запасом прочности около 7%);

– регулярная техническая экспертиза способствует наиболее безопасной эксплуатации [7,8].

Далее расчётным способом подтвердим гипотезу о том, что трехгранное поперечное сечение траверсы порталной промежуточной опоры ВЛ 500 кВ экономичнее (эффективней), чем четырехгранное (классическое) поперечное сечение (рис.6).

Анализ НДС траверсы проводился в расчётной схеме, включающей стойки опоры, таким образом учитывалась пространственная работа всех

элементов опоры, т. е. моделировалась ситуация максимально приближенная к реальной работе конструкции.

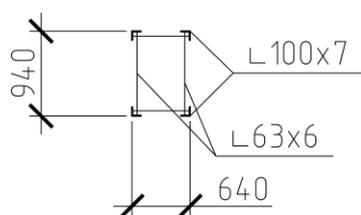
Из базовой расчётной модели были исключены тросостойки (для сокращения времени на поиск конструктивного решения стыка тросостойки с трехгранной траверсой) [9,10].

Для «чистоты» эксперимента, в ходе эксперимента автор стремился подобрать сечение верхнего пояса со значением исчерпания несущей способности 69% (значение исчерпания несущей способности верхних поясов базового варианта).

В ходе эксперимента не подвергались изменению:

- 1) габаритные размеры траверсы (высота, ширина и длина);
- 2) кол-во панелей;
- 3) сечения нижних поясов, сечения нижней горизонтальной решетки, сечения вертикальной решетки;
- 4) прочностные характеристики (марка стали);
- 5) нагрузки от проводов;
- 6) расчетные сочетания нагрузок (расчет выполнялся на 1-ый и 2-ой нормальные режимы – ветровой и гололедный при ветре, направленном под углом 45 градусов к грани стоек опоры).

Базовый вариант



Предлагаемый вариант

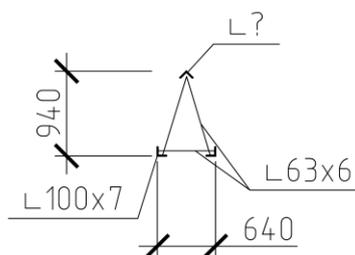
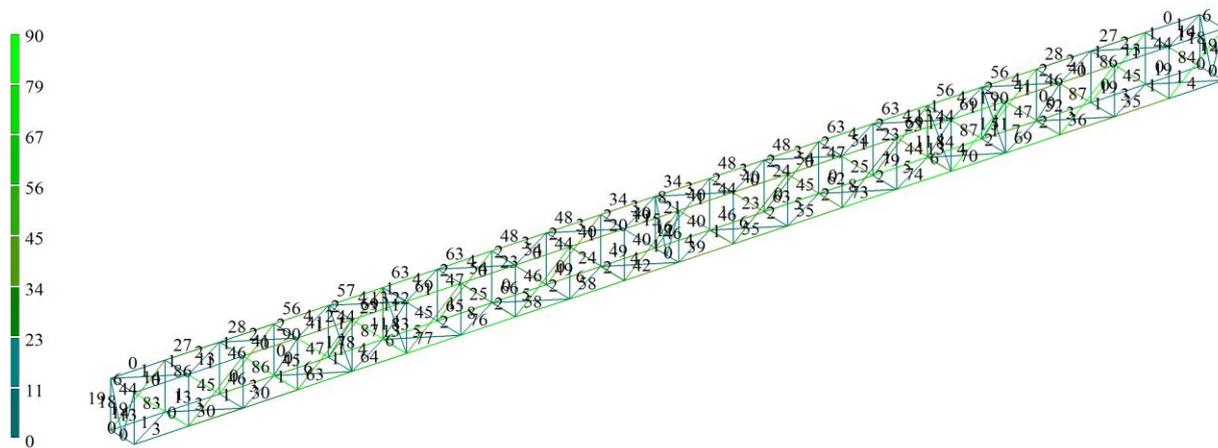


Рис.6. Варианты сечений опор

Результаты расчета базового варианта (четырёхгранное сечение траверсы; рис.7):



Мозаика результатов проверки назначенных сечений по 1-му состоянию

Рис.7. Расчетная схема

Максимальное значение истощения несущей способности нижних поясов – 83%. Максимальное значение истощения несущей способности верхних поясов – 69%. Максимальное значение истощения несущей способности решетки – 90%. Предлагаемый вариант (рис.8,9):



Рис.8. Расчетная схема предлагаемой конструкции

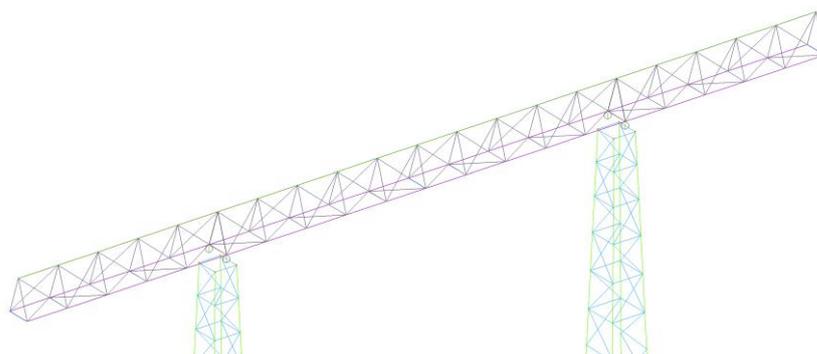


Рис.9. Расчетная схема предлагаемой конструкции

Ввиду изменения конструктивного исполнения траверсы (замена четырёхгранного поперечного сечения на трехгранное) ветровая нагрузка, действующая на траверсу, подлежит изменению. Результаты расчета предлагаемого варианта (трехгранное сечение траверсы; рис.10):

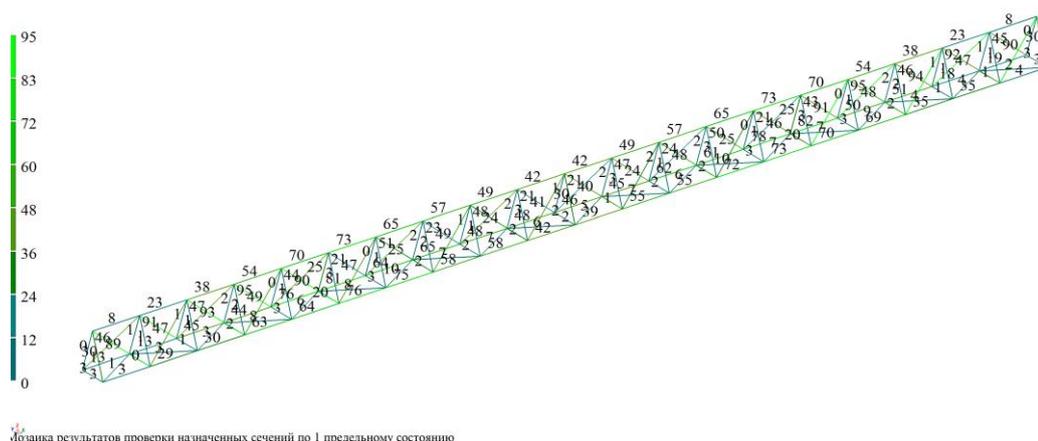


Рис.10 Расчетная схема предлагаемой конструкции

Подобранное сечение верхнего пояса – уголок 140x9 мм. Максимальное значение исчерпания несущей способности нижних поясов – 82%. Максимальное значение исчерпания несущей способности верхних поясов – 73%. Максимальное значение исчерпания несущей способности решетки – 95% [11]. Оценка уменьшения металлоемкости: опорные реакции (в тс) от собственного веса траверсы (расчетные нагрузки) в базовом варианте (рис.11):



Рис.11. Расчетная схема предлагаемой конструкции

Вес фермы – 2,4112 тс. Опорные реакции (в тс) от собственного веса траверсы (расчетные нагрузки) в предлагаемом варианте (рис.12):



Рис.12. Расчетная схема предлагаемой конструкции

Вес фермы – 2,0244 тс. Итог расчета: в результате оптимизации получена экономия в металлоемкости в размере 19% ($2,4112 - 2,0244 = 0,3868$ тс, $2,4112 / 2,0244 = 1,191$ (19%).

Учитывая вышеизложенные расчеты, гипотеза о том, что трехгранное поперечное сечение траверсы portalной промежуточной опоры ВЛ 500 кВ экономичнее (эффективней), чем четырехгранное (классическое) поперечное сечение подтверждена.

Литература

1. Ельцов Р.И. Разработка технологического процесса изготовления сварных конструкций // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 5. С. 35 – 44.
2. Ведяков И.И., Гукова М.И., Фарфель М.И., Кондрашов Д.В., Яровой С.Н. Обследование конструкций зданий и сооружений завода ОАО "Тагмет" // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 1 (246). – С. 58-64.



3. Баламирзоев А.Г., Муртузов М.М., Селимханов Д.Н., Дибирова З.Г., Абдуллаев А.Р. Нелинейные поперечные колебания составных стержней при действии статически приложенной поперечной нагрузки // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 2. С. 29 – 37.
 4. Гучкин И.С., Булавенко В.О. Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 69-74.
 5. Евсеев А.Е., Гарькин И.Н., Ахметов Ф.М. Способ получения матрицы жёсткости стержневого конечного элемента для деформационного расчета по дифференциальному уравнению // Системные технологии. 2024. № 2 (51). С. 5-13.
 6. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2 С.79-82.
 7. Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2021. №6 (15). С. 45-51.
 8. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037.
 9. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.
 10. Петрова И.Ю., Мостовой О.О. Обзор процесса проведения обследований зданий и сооружений. Проблемы и пути их решения. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2013. № 1 (36). С. 12-20.
-



11. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Способ проката двутаврового профиля сечения из низколегированной стали // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 4 (237). С. 51-54.

References

1. El'cov R.I. Stroitel'nye materialy i izdelija. 2021. Т. 4. № 5. pp. 35 – 44.
2. Vedjakov I.I., Gukova M.I., Farfel' M.I., Kondrashov D.V., Jarovoj S.N. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2013. № 1 (246). pp. 58-64.
3. Balamirzoev A.G., Murtuzov M.M., Selimhanov D.N., Dibirova Z.G., Abdullaev A.R. Stroitel'nye materialy i izdelija. 2021. Т. 4. № 2. pp. 29 – 37.
4. Guchkin I.S., Bulavenko V.O. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2012. № 1. pp. 69-74.
5. Evseev A.E., Gar'kin I.N., Ahmetov F.M. Sistemnye tehnologii. 2024. № 2 (51). pp. 5-13.
6. Kuzin N.YA., Bagdoev S.G. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo.2012. №2. pp.79-82.
7. Snegireva A.I., Murashkin V.G. Jekspert: teorija i praktika. 2021. №6 (15). pp. 45-51.
8. Sheina S. G., Vinogradova E. V., Denisenko Yu. C. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037
9. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp.213-217.
10. Petrova I.Ju., Mostovoj O.O. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspija: nauchno-tehnicheskij zhurnal. 2013. № 1 (36). pp. 12-20..
11. Nezhdanov K.K., Gar'kin I.N. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. 2011. № 4 (237). pp. 51-54.

Дата поступления: 13.09.2024

Дата публикации: 19.10.2024