

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 кВ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Евсеев Андрей Николаевич

магистрант,

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

309850, Россия, г. Алексеевка Белгородской области,

Аннотация. В работе приводится на основе аналитических выражений методика проверки параметров воздушных линий распределительных сетей 10 кВ, выполненных проводом АС, таких как оптимальное сечение провода при заданной длине ВЛ или максимальная длина ЛЭП для заданного сечения провода и мощности нагрузки. Также методика позволяет корректировать $\operatorname{tg} \varphi$ потребителя для обеспечения нормативных параметров напряжения на его распределительном устройстве. Расчеты могут быть проведены средствами MS Excel.

Abstract. The paper presents, on the basis of analytical expressions, a method for checking the parameters of overhead lines of 10 kV distribution networks made by speakers, such as the optimal wire cross-section for a given overhead line length or the maximum power line length for a given wire cross-section and load power. Also, the technique allows to adjust $\operatorname{tg} \varphi$ of the consumer to ensure the standard voltage parameters on his switchgear. Calculations can be made using MS Excel.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи; падение напряжения; потери электроэнергии; удельные активное и реактивное сопротивление; оптимизационная задача.

Keywords: overhead power line; voltage drop; power loss; specific active and reactive resistance; optimization problem.

Предприятия агропромышленного комплекса, расположенные в сельской местности, получают электроэнергию как правило по радиальным воздушным линиям (ВЛ) электропередачи от шин 10 кВ районных подстанций (ПС). В качестве проводникового материала на таких ВЛ чаще всего используется голый сталеалюминевый провод АС [1], который закрепляется на штыревых изоляторах ШФ-10Г [3] траверсы ТМ-1 [2]. Схема такой воздушной линии электропередачи условно показана на Рис. 1.

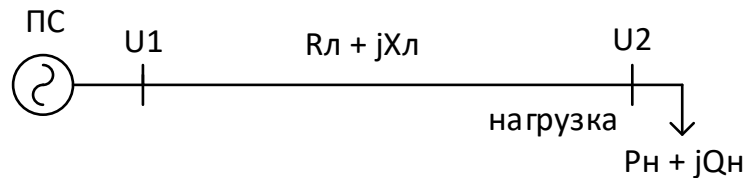


Рис. 1.

Схема радиальной ВЛ сети 10 кВ

Наиболее важным показателем качества электрической энергии для потребителя является установившееся отклонение напряжения от своего номинального значения. Согласно ГОСТ 32144-2013 [4, с.6] в сетях 10 кВ положительные и отрицательные отклонения напряжения на шинах 10 кВ трансформаторной подстанции (ТП) потребителя в точке U_2 передачи электрической энергии не должны превышать 10 % согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

При проектировании новых линий электропередачи (ЛЭП), их реконструкции и расчетах различных режимов работы распределительных сетей необходимо учитывать это требование ГОСТа. Учитывая, что напряжения в начале (U_1) и конце ВЛ (U_2) отличаются незначительно, принято отклонения напряжения у потребителя рассчитывать, используя номинальное напряжение ВЛ $U_H \approx U_1 \approx U_2$. При заданной активной и реактивной мощности нагрузки (P_H и Q_H), активном R_L и реактивном X_L сопротивлении ВЛ и известном номинальном напряжении распределительной сети 10 кВ отклонение напряжения ΔU у потребителя можно рассчитать по выражению [6, с.109]:

$$\Delta U = \frac{P_H \cdot R_L + Q_H \cdot X_L}{U_H} + j \frac{P_H \cdot X_L - Q_H \cdot R_L}{U_H}. \quad (1)$$

В распределительных сетях 10 кВ принято не учитывать мнимую составляющую в выражении (1), а определять отклонение ΔU только по действительной составляющей (1). Запишем первое слагаемое в (1) используя длину ВЛ (L), погонные активное и реактивное сопротивления провода (r_0 , x_0) и нормированного в % отклонения напряжения ΔU

$$\Delta U \% = \frac{L \cdot (P_H \cdot r_0 + Q_H \cdot x_0) \cdot 100}{U_H^2}. \quad (2)$$

Выполнив преобразование выражения (2) относительно L можно проверять или выбирать необходимую длину ВЛ при которой обеспечивается нормированное ГОСТом отклонение напряжения при заданных нагрузке потребителя и типе провода АС

$$L = \frac{\Delta U \% \cdot U_H^2}{(P_H \cdot r_0 + Q_H \cdot x_0) \cdot 100}. \quad (3)$$

Из выражения (2), при известном коэффициенте мощности нагрузки

$\text{tg } \varphi_n = Q_n / P_n$, длине линии L и типе провода можно проверить возможность передачи по ВЛ максимальной активной мощности нагрузки при которой у потребителя будет допустимое отклонение напряжения

$$P_H = \frac{\Delta U\% \cdot U_H^2}{L \cdot (r_0 + tg \varphi_H \cdot x_0) \cdot 100}. \quad (4)$$

Более заманчивым является возможность использовать выражение (2) для выбора сечения провода ВЛ, т.е. определения из этого выражения при заданной длине линии L и нагрузке потребителя (P_H и $tg \varphi_H$) r_0 и x_0 провода. Решить одно уравнение (4) с двумя неизвестными r_0 и x_0 однозначно нельзя, поскольку решая, например, (4) как оптимизационную с двумя переменными можно получить r_0 и x_0 соответствующие различным типам провода АС.

Для однозначного решения этой задачи необходимо выяснить имеется ли определенная зависимость в проводе АС, закрепленного на траверсах ТМ-1 между его активным r_0 и реактивным x_0 погонным сопротивлением.

Используя заводские паспортные данные провода АС [1], геометрические характеристики траверсы ТМ-1, показанные на Рис. 2 и известное выражение [6] для расчета x_0

$$x_0 = 0,1445 \cdot \log_{10} \frac{2 \cdot D_{CT}}{d} + 0,0157, \quad (5)$$

где d – диаметр провода АС, D_{CT} – среднегеометрическое расстояние между проводами различных фаз ВЛ.

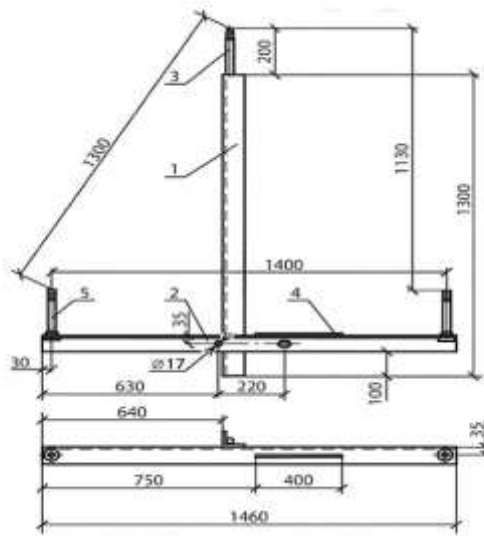


Рис. 2. Геометрические размеры траверсы ТМ-1

Учитывая, что на траверсе ТМ-1 провода ВЛ располагаются в вершинах равностороннего треугольника и расстояния между ними равны между собой D_{CT} можно принять равным 1300 мм.

Паспортные и рассчитанные параметры провода АС различных сечений представлены в табл. 1.

Установим возможную зависимость между r_0 и x_0 по данным табл. 1, предполагая, что между r_0 и x_0 существует аналитическая зависимость в виде степенной функции

$$x_0 = A \cdot r_0^B, \quad (6)$$

где A и B – неизвестные константы, определяемые из решения оптимизационной задачи нахождения минимума функции F равной сумме квадратов отклонений между действительными значениями x_0 из табл. 1 и x_0 , вычисленными по выражению (6)

$$F = \min_{A,B} \sum_{i=1}^{11} (x_{0i} - A \cdot r_{0i}^B)^2. \quad (7)$$

Таблица 1

Расчетные параметры провода АС на траверсе ТМ-1

Сечение алюм/сталь, мм ²	Диаметр, мм		r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Длительно допустимый ток, А
	Провода	Стального сердечника			
16/2,7	5,6	1,9	1,7818	0,444549	111
25/4,2	6,9	2,3	1,1521	0,431449	142
35/6,2	8,4	2,8	0,7774	0,419104	175
50/8.0	9,6	3,2	0,5951	0,410724	210
70/11	11,4	3,8	0,4218	0,399940	265
95/16	13,5	4,5	0,3007	0,389329	330
120/19	15,2	5,6	0,2440	0,381886	390
150/19	16,8	5,6	0,2046	0,375605	450
185/24	18,9	6,3	0,1540	0,368214	520
240/32	21,6	7,2	0,1182	0,359834	605
300/39	24,0	8,0	0,0958	0,353222	710

Оптимизационная задача (7) достаточно просто решается средствами MS Excel «Поиск решения». Полученные в результате решения равны соответственно: $A = 0,426695$, $B = 0,07897$. На Рис. 3 показано практически полное совпадение расчетных (табл. 1) и вычисленных по выражению (6) погонных реактивных сопротивлений провода АС, что указывает на тесную функциональную связь между r_0 и x_0 в проводе.

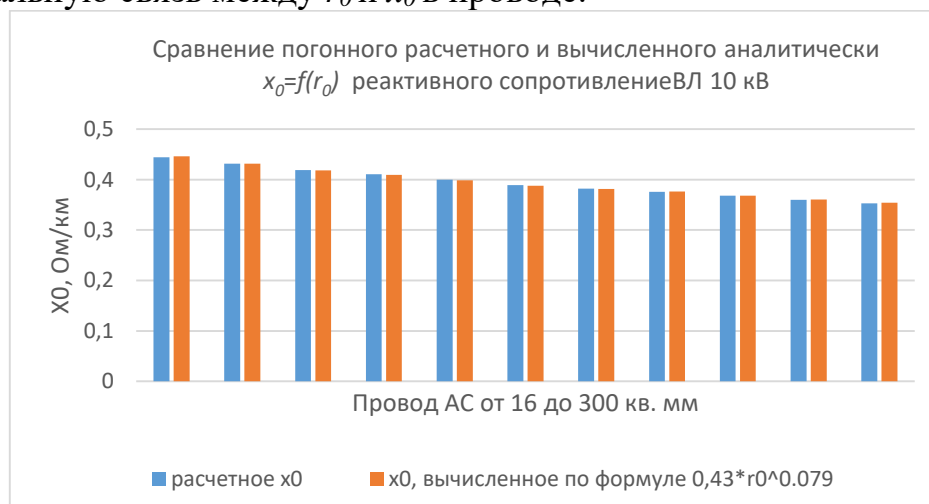


Рис. 3. Диаграмма сравнений значений x_0

Установив аналитическую зависимость между r_0 и x_0 можно преобразовать уравнение (2) к виду удобному для расчета требуемого сечения провода АС при заданных длине ВЛ, активной мощности и коэффициенте мощности нагрузки. Активное погонное сопротивление провода r_0 можно найти, решив следующее нелинейное уравнение

$$\Delta U\% \cdot U_n^2 = L \cdot P_n \cdot (r_0 + 0,426695 \cdot r_0^{0,07897} \cdot tg \varphi_n) \cdot 100. \quad (8)$$

В уравнение (6) входит только одно неизвестное r_0 , и оно может быть решено любым из известных методов решения нелинейных уравнений [4, с. 10].

Для практических расчетов представляется наиболее эффективно для решения уравнения (6) использовать средства MS Office Excel в котором имеется не только раздел «Поиск решения» для решения нелинейных задач, но, но и возможность найти решение с учетом ограничений на минимальное и максимальное сечение провода СИП 2а. Также в этом случае можно получить ответ имеется ли для заданных: длине линии, активной мощности нагрузки и $tg \varphi_2$, допустимое решение для имеющейся номенклатуры сечений провода АС или необходима коррекция исходных данных.

Еще одно полезное свойство выражения (2) заключается в подборе необходимой мощности компенсирующих устройств, для обеспечения такого $tg \varphi_n$ который бы обеспечивал требуемое ГОСТом отклонение напряжения у потребителя. Для этого из выражения (2) следует выразить $tg \varphi_n$

$$tg \varphi_n = \frac{\Delta U\% \cdot U_n^2 - P_n \cdot L \cdot r_0 \cdot 100}{P_n \cdot L \cdot x_0 \cdot 100}. \quad (9)$$

Полученные в работе соотношения для выбора требуемой длины ВЛ (3), активной мощности нагрузки (4), сечения провода АС (8) и коэффициента мощности нагрузки потребителя (9) позволяют при проверке состояния параметров ВЛ не прибегать к сложным и дорогостоящим специальным программным продуктам, а производить предварительный анализ состояния электрооборудования распределительной сети только средствами MS Office, пакет которого имеется на любом компьютере или ноутбуке в электротехнической службе агропромышленного предприятия.

Список литературы

1. Группа компаний ВБК. Поставки кабеля и проводов в любой город России. URL: <http://kabel-kupit.ru/> (Дата обращения 11.03.2019)
2. Траверсы ТМ 6-10 кВ. URL: <http://www.sip.spb.ru/catalog/металлоконструкции-лэп-для-сип-0,4кв%3В-6-10кв/траверсы-6-10-кв.html> (дата обращения 02.04.2019)
3. Изолятор штыревой фарфоровый ШФ-10Г. URL: <https://asenergi.com/catalog/izolyatory/shf-10g.html> (дата обращения 08.04.2019)
4. ГОСТ 32144–2013 Нормы качества электрической энергии в системах общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014 г. 16 с.
5. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988, 128 с.

6. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М., «Издательский дом Альянс», 2009, 592 с.