

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.2 - С.331-335

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП

*Власкин Г.А., магистрант 2 курса,  
Таткеева Г.Г., д.т.н., зав. кафедры «Электроснабжения»  
Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-  
Султан*

Компактные ЛЭП – это относительно новое решение в конструкции линий электропередач, имеющее перспективы во внедрение в электроэнергетическую сеть Республики Казахстан.

Идея, лежащая в конструктивной основе воздушных ЛЭП, заключается в следующем – фазы линии можно значительно сблизить, установив полимерные изолирующие траверсы и жесткие распорки между проводами, что в свою очередь уменьшит габаритные размеры как занимаемого места в пространстве, так и площадь занимаемых территорий<sup>[1,2]</sup>. Благодаря распоркам устраняется возможность сильных раскачиваний фазных проводов из-за ветра и, соответственно, их соударения. Также в виду уменьшения расстояния между проводами, снижается и индуктивное сопротивление линии<sup>[3]</sup>.

Рассмотрим одноцепную линию с уровнем напряжения 220 кВ.

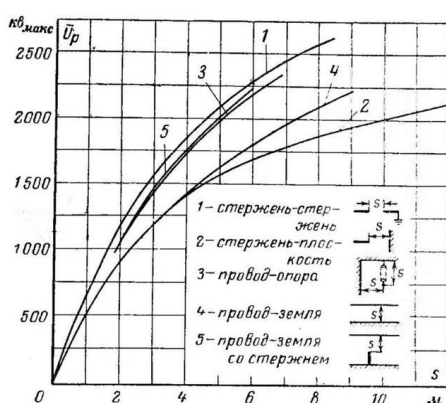


Рисунок 1 - Кривые разрядных напряжений воздушных промежутков на линиях<sup>[7]</sup>

Промежуток провод–провод симметричен, и для него действительна кривая 1

Согласно рисунку 1 следует, что напряжение пробоя промежутка «провод-провод» при расстоянии 2,5 метра для напряжения 220 кВ равно 1300 кВ, что более чем в 5 раз больше номинального напряжения, а напряжение пробоя промежутка «провод-опора» равно 1250 кВ, что в свою очередь больше номинального напряжения в 4 раза. Этого достаточно для соблюдения воздушной изоляции между проводами линии, а также между проводами и опорной конструкцией<sup>[7,9]</sup>. При уменьшении расстояний между проводами уменьшается индуктивное сопротивление (1):

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l = \left( 0,145lg \frac{2D_{ср}}{d} + 0,0157\mu_r \right) \cdot l, \text{ Ом} \quad (1)$$

где  $D_{ср}$  - среднее расстояние между проводами или центрами жил кабелей, мм;

$d$  – диаметр токоведущей жилы кабеля или диаметр провода, мм;

$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала провода; для проводов из цветного металла  $\mu=1$ ;

$l$  – длина линии электропередач, км;

Активное сопротивление одноцепной линии электропередач рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{ВЛ} = r_0 \cdot l, \text{ Ом} \quad (2)$$

где  $r_0$  – активное сопротивление провода, Ом/км;

Для удобства расчета примем значение длины линии электропередач равным 100 километров, а провод выберем марки АС-240/39. Рассчитаем индуктивное сопротивление традиционной линии 220 кВ при  $d = 240$  мм,  $D_{ср} = 425$  мм:

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l = \left( 0,145lg \frac{2 \cdot 425}{240} + 0,0157 \cdot 1 \right) \cdot 100 = 9,54 \text{ Ом}$$

Рассчитаем активное сопротивление традиционной линии 220 кВ при  $d = 240$  мм (для марки АС-240/39  $r_0 = 0,122$  Ом/км):

$$R_{ВЛ} = 0,122 \cdot 100 = 12,2 \text{ Ом}$$

Зная активное и индуктивное сопротивления и напряжение, можно рассчитать силу тока в сети (3):

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_{ВЛ}^2 + X_{ВЛ}^2}}, \text{ кА} \quad (3)$$

$$I = \frac{220}{\sqrt{12,2^2 + 9,54^2}} = 14,2 \text{ кА}$$

Аналогичный расчет проведем для компактной линии электропередач, в которой расстояние между проводами будет равным 2,5 метра.

$$X_{ВЛ} = \left(0,145lg \frac{2 \cdot 250}{240} + 0,0157 \cdot 1\right) \cdot 100 = 6,2 \text{ Ом}$$

$$R_{ВЛ} = 0,122 \cdot 100 = 12,2 \text{ Ом}$$

$$I = \frac{220}{\sqrt{1,1^2 + 6,2^2}} = 16,07 \text{ кА}$$

Теперь рассмотрим трехцепную линию электропередач уровнем напряжения 500 кВ. Как правило, линии 500 кВ выполняются с тремя расщепленными проводами в каждой из фаз.

Согласно рисунку 1 следует, что напряжение пробоя промежутка «провод-провод» при расстоянии 5 метров для напряжения 500 кВ равно 2200 кВ, что более чем в 4 раза больше номинального напряжения, а напряжение пробоя промежутка «провод-опора» равно 2000 кВ, что в свою очередь больше номинального напряжения в 4 раза. Этого достаточно для соблюдения воздушной изоляции между проводами линии, а также между проводами и опорной конструкцией.

Для удобства расчета трехцепной линии электропередач уровнем напряжения 500 кВ примем значение длины линии равным 300 километров, а провод выберем марки АС-300/66. Рассчитаем индуктивное сопротивление традиционной трехцепной линии<sup>[3]</sup> 500 кВ при  $d = 300 \text{ мм}$ ,  $D_{ср} = 700 \text{ мм}$  (4):

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l = 0,145lg \frac{D_{ср}}{r_{пр}^{эКВ}} + \frac{0,0157}{n}, \text{ Ом} \quad (4)$$

где  $r_{пр}^{эКВ}$  – эквивалентный радиус провода, мм;  
 $n$  – число расщепленных провод в фазе;

Эквивалентный радиус расщепленного провода рассчитывается по формуле (5):

$$r_{\text{пр}}^{\text{ЭКВ}} = \sqrt[n]{r_{\text{пр}} \cdot a^{n-1}}, \text{ мм} \quad (5)$$

где  $a$  - расстояние между проводами в фазе равное 40 сантиметров;

$$r_{\text{пр}}^{\text{ЭКВ}} = \sqrt[3]{300 \cdot 40^{3-1}} = 78,3 \text{ мм}$$

$$X_{\text{ВЛ}} = x_0 \cdot l = \left(0,145 \lg \frac{700}{78,3} + \frac{0,0157}{3}\right) \cdot 300 = 42,96 \text{ Ом}$$

Рассчитаем активное сопротивление трехцепной традиционной линии 500 кВ при  $d = 300$  мм (для марки АС-300/66  $r_0 = 0,0958$  Ом/км) по следующей формуле (6):

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0}{n} \cdot l \quad (6)$$

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{0,0958}{3} \cdot 300 = 9,58 \text{ Ом}$$

Зная активное и индуктивное сопротивления и напряжение, можно рассчитать силу тока в сети по формуле (3):

$$I = \frac{500}{\sqrt{9,58^2 + 42,96^2}} = 11,36 \text{ кА}$$

Аналогичный расчет проведем для компактной линии электропередач, в которой расстояние между проводами будет равным 5 метров.

$$r_{\text{пр}}^{\text{ЭКВ}} = \sqrt[3]{300 \cdot 40^{3-1}} = 78,3 \text{ мм}$$

$$X_{\text{ВЛ}} = x_0 \cdot l = \left(0,145 \lg \frac{500}{78,3} + \frac{0,0157}{3}\right) \cdot 300 = 36,6 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{вл}} = \frac{0,0958}{3} \cdot 300 = 9,58 \text{ Ом}$$

$$I = \frac{500}{\sqrt{9,58^2 + 36,6^2}} = 13,22 \text{ кА}$$

Для проверки расчетов необходимо составить схему для измерения тока во всех четырех случаях. В качестве базы используется программа MatLAB с подразделом Simulink версии 2018 года<sup>[4]</sup>. Итоги подведены на рисунках 2-3.

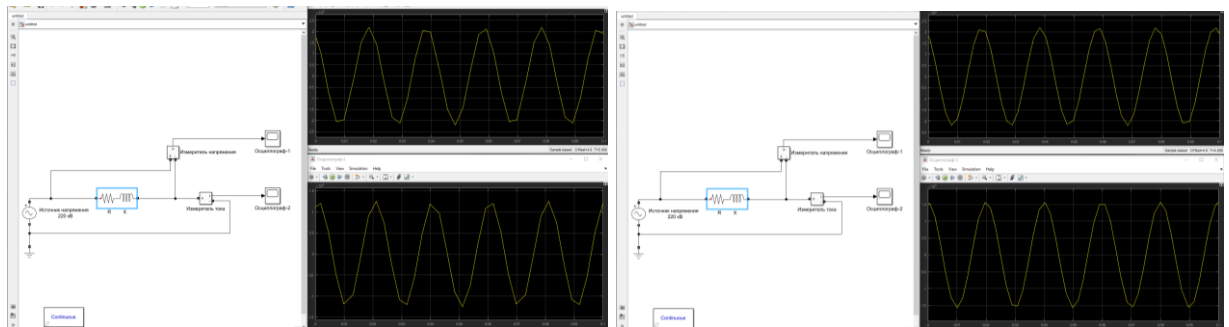


Рисунок 2 – Результаты измерений построенной схемы с уровнем напряжения 220 кВ: с традиционным расположением проводов линии (слева) и компактным расположением проводов линии (справа)

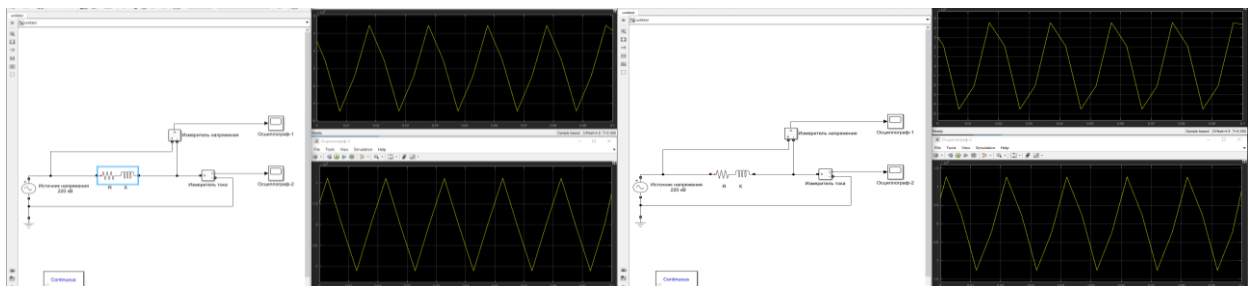


Рисунок 3 – Результаты измерений построенной схемы с уровнем напряжения 500 кВ: с традиционным расположением проводов линии (слева) и компактным расположением проводов линии (справа)

Соответствующие увеличения составляют в 1,16 раза. То есть практически без вложений дополнительных затрат в линию электропередачи мы достигаем увеличение пропускной способности в 1,16 раза.

Согласно [5], путем сближения фазных проводов, получилось повысить пропускную способность компактных ЛЭП в 1,28, 1,47 и 1,5 раз по сравнению с традиционными линиями.

## Список литературы

1. Веников В.А. Худяков В.В., Анисимова Н.Д. Передача энергии переменным и постоянным током высокого напряжения – М.: Высш. школа, 1972. - 368 с.
2. Соколов, П. С. Особенности конструкции и эксплуатации компактных воздушных линий нового поколения в России / Молодой ученый. — 2016. — № 29 (133). — С. 148-155.
3. Азаров В.С. Передача и распределение электроэнергии в примерах и решениях – М.: МГОУ, 2005. - 213 с.
4. Михайлов А. Н. Математическое моделирование городской электрической сети и разработка комплекса программ для службы распределения электроэнергии. – Саранск, 2010.- 131 с.: ил.
5. Buryanina N., Korolyuk Yu., Koryakina M. “Compact Power Transmission Lines”, – Anadyr, Russia, 2019.