

А.М. АРУТЮНЯН

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТОКОПРОВОДОВ С
ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПО СРАВНЕНИЮ С ТОКОПРОВОДАМИ С
ВОЗДУШНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ**

Токопроводы с литой и воздушной изоляцией предназначены для электрического соединения электроэнергетического оборудования на электрических станциях и подстанциях в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц и напряжением до 35 кВ. Первоначальная стоимость токопроводов с воздушной изоляцией на стадии заводского изготовления, ввиду их конструктивных особенностей, несколько ниже стоимости токопроводов с литой изоляцией. Однако на стадиях доставки, монтажа и эксплуатации (обслуживания) затраты на токопроводы с литой изоляцией существенно меньше. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации они не требуют обслуживания, кроме того, по сравнению с токопроводами с воздушной изоляцией, они имеют меньшие габаритные размеры и меньшие потери активной мощности. В результате первоначальные дополнительные инвестиции за короткое время окупаются, и применение токопроводов с литой изоляцией на объектах энергосистемы является экономически более обоснованным.

Ключевые слова: токопровод, литая изоляция, воздушная изоляция, экономия, транспортировка, монтаж, затраты.

Введение. Токопроводы с литой и воздушной изоляцией предназначены для электрического соединения электроэнергетического оборудования на электрических станциях и подстанциях в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц и напряжением до 35 кВ.

Первоначальная стоимость токопроводов с воздушной изоляцией на стадии заводского изготовления несколько ниже стоимости токопроводов с литой изоляцией (на 5...15%). Однако на стадиях доставки, монтажа и эксплуатации затраты на токопроводы с литой изоляцией существенно меньше, в результате чего и получается общая экономия. Перечень признаков (свойств) [1-3], за счет которых получается экономия при применении токопроводов с литой изоляцией, приведен в табл. 1.

В настоящей статье рассмотрена экономия затрат, получаемая в процессе транспортировки и монтажа токопроводов с литой изоляцией в соответствии с пп.1 и 2 табл. 1.

Таблица 1

Свойства токопроводов с литой изоляцией, за счет которых достигается экономия

№	Свойство	Определение экономии
1	Меньший объем всех линий приводит к меньшим затратам на транспортировку: - ж.д. транспортом, - водным транспортом, - автомобильным транспортом	Рассчитывается объем всех типов токопроводов в условиях доставки с учетом упаковки и условий транспортировки. Далее рассматривается отдельно стоимость доставки вычисленного дополнительного объема линий всеми видами транспорта: - ж.д. транспортом, - перевозкой на барже, - доставкой автотранспортом и т.д.
2	Меньшая стоимость монтажа за счет меньшей занимаемой площади и объема линий	Рассчитываются масса, площадь и объем для линий с воздушной и литой изоляцией. Из нормативов берутся значения стоимости монтажа, которые сравниваются со стоимостью линий.
3	Меньший объем требуемых помещений и требуемых открытых площадок над трансформаторами	Рассчитывается объем токопроводящих линий с литой изоляцией и вычитается объем линий с воздушной изоляцией. Получаемый объем экономии пересчитывается по тарифам капитального строительства.
4	Малая стоимость эксплуатации, отсутствие необходимости в замене деталей и комплектующих за весь срок эксплуатации	В токопроводах с воздушной изоляцией в процессе эксплуатации необходимы: 1) замена изоляторов (имеется система контроля опорных изоляторов, типа УКОИ); 2) периодическая подкраска или покраска корпуса; 3) продувка и поддувка теплым и просушенным воздухом внутренних полостей для ликвидации пыли, грязи, возможного конденсата воды и наледей. Воздух подают осушенный. Поддерживается относительная влажность 30...40%. Эта работа постоянная, требует первоначальных затрат (покупка оборудования) и затрат на эксплуатацию (оплата рабочего труда).
5	Меньшие потери мощности для токопроводов с литой изоляцией	В каталогах указана величина "Удельные потери мощности на 1 м". Далее учитываются длина линий и тариф оплаты электроэнергии и рассчитывается экономия за счет потерь мощности в процессе эксплуатации.

Экономия затрат, получаемая при транспортировке. Для расчета затрат на транспортировку определяется объем оборудования. При этом объем вычисляется с учетом упаковки. Объем оборудования для транспортировки отличается от объема линии в собранном виде.

Согласно требованиям [1] и [2], транспортировка токопроводов с литой и воздушной изоляцией проводится автомобильным, железнодорожным или водным транспортом в соответствии с действующими правилами транспортирования:

- "Правила перевозок грузов", МПС;
- "Технические условия погрузки и крепления грузов";
- "Правила перевозки грузов";
- "Общие специальные правила перевозки грузов";
- "Правила дорожного движения".

Условия транспортировки токопроводов в части воздействия механических факторов должны соответствовать ГОСТ 23216:

- жесткие (Ж) - при транспортировании морем,
- средние (С) - для всех других перевозок.

Таким образом, условия транспортировки в Армению средние (С) – автомобильным видом транспорта.

Средние условия транспортировки предполагают наличие упаковки. С целью уменьшения объема токопроводы с воздушной изоляцией типа ТЭНЕ, состоящие внешне из трех трубчатых корпусов и основания, упаковываются отдельно по частям. Токопроводы ТЭНЕ также содержат три цилиндрических корпуса и основание шириной 3 м, поэтому их разделяют при транспортировке на части для возможности размещения в вагоны и автомобили (рис.).

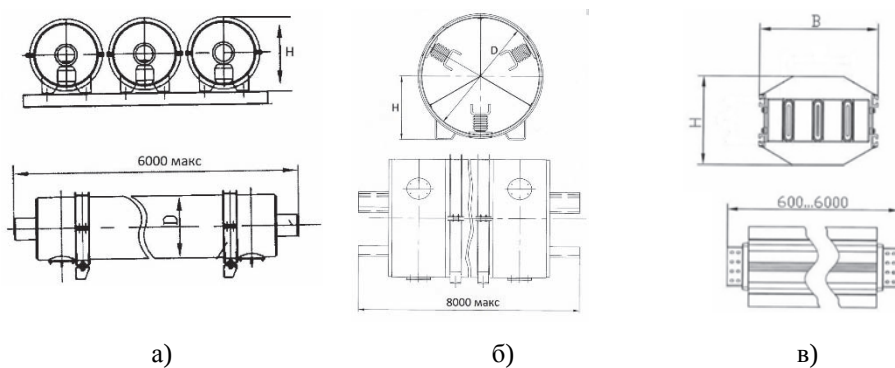


Рис. Токопроводы с воздушной и литой изоляцией: а – ТЭНЕ, б – ТЗКР, в - ТКЛС

В табл. 2 указаны объёмы токопроводов с литой и воздушной изоляцией с учетом условий транспортировки. Для токопроводов с воздушной изоляцией площадь поперечного сечения отдельного цилиндрического корпуса диаметром D рассчитывается не по формуле $\pi(D/2)^2$, а по условиям упаковки $D \times H$. Далее к этому прибавляется 5% для толщины ящиков или же для объема, занимаемого деревянными распорками или другими амортизирующими материалами. Точно так же при расчете объема токопроводов с литой изоляцией учитываются габаритные размеры, и при подсчете сечения прибавляется 5% на место упаковки деревянных или других распорок и амортизирующих материалов.

Таблица 2

Объемы линий токопроводов, предназначенных для транспортировки

Токопроводы с воздушной изоляцией		Токопроводы с литой изоляцией	
тип	внешний диаметр D , габарит с учетом ножек $H1$, сечение $S1$, удельный объем $V1$	тип	габариты $B2$ и $H2$, сечение $S2$, удельный объем $V1$
ТЭНЕ-10- 6000-300 УХЛ1	$D=55$ см, $H1=65$ см, Основание 300×10 см $S1 = (3 \cdot 55 \cdot 65 + 300 \cdot 10) +$ $+5\% = 1,44 \text{ м}^2$, $V1=1,44 \text{ м}^3$	ТКЛС(М)-10- 6000-312 УХЛ1	$B2=59,7$ см, $H2=57$ см $S2 = 59,7 \cdot 57 +$ $+5\% = 0,36 \text{ м}^2$, $V2 = 0,36 \text{ м}^3$
ТЭНЕ-10- 5000-250 УХЛ1	$D=43,2$ см, $H1=44,9$ см. Основание 144×12 см $S1 = (3 \cdot 43,2 \cdot 44,9 + 144 \cdot$ $\cdot 12) + 5\% = 0,79 \text{ м}^2$, $V1=0,79 \text{ м}^3$	ТКЛС(М)-10- 5000-255 УХЛ1	$B2=59,7$ см, $H2=52$ см $S2 = 59,7 \cdot 52 +$ $+5\% = 0,33 \text{ м}^2$, $V2=0,33 \text{ м}^3$
ТЗКР-6- 1600-81 УХЛ1	$D= 62,3$ см, $H1= 67,3$ см $S1 = 62,3 \cdot 67,3 + +5\% = 0,44 \text{ м}^2$, $V1=0,44 \text{ м}^3$	ТКЛС(А)-6- 1600-51 УХЛ1	$B2=59,7$ см, $H2=42$ см $S2 = 59,7 \cdot 42 +$ $+5\% = 0,26 \text{ м}^2$, $V2=0,26 \text{ м}^3$

Из табл. 2 видно, что объём, занимаемый при транспортировке токопроводами с литой изоляцией, меньше объёма, занимаемого токопроводами с воздушной изоляцией.

Экономия затрат на стадии монтажа. Стоимость монтажа токопровода зависит от двух основных факторов:

- массы секций токопровода;
- размеров и объема секций токопровода.

Методика расчета экономии от монтажа включает несколько этапов.

На этапе 1 рассчитываются массы двух видов линий и их отношение K_M .

На этапе 2 находятся реальное сечение линий, пропорциональное объему, и отношение сечений K_C .

Если факторы K_M и K_C больше 1, то значит, масса или объем линии токопровода с воздушной изоляцией больше массы или объема линии токопровода с литой изоляцией. Тогда они складываются, и эффект усиливается. Если же $K_M < 1$, а $K_C > 1$, или наоборот, то эти факторы вычитаются, и вычисляется, какой фактор превалирующий, т.е. главный.

На этапе 3 по расценкам [4] находятся прямые затраты на монтаж токопроводов с воздушной изоляцией.

На этапе 4 по найденному среднему коэффициенту стоимости монтажа линий токопроводов с воздушной изоляцией и разнице факторов K_M и K_C находятся общие затраты на монтаж токопроводов с литой изоляцией.

В табл. 3 и 4 приводятся результаты расчета соответственно удельной массы и удельного объема линий токопроводов с воздушной и литой изоляцией, а также коэффициента массы $K_M = M_1/M_2$.

Как видно из этих таблиц, несмотря на то, что токопроводы с литой изоляцией в основном весят больше, чем с воздушной изоляцией ($K_M < 1$), а их объем значительно меньше, чем объем токопроводов с воздушной изоляцией ($K_C > 1$, $K_C - K_M > 0$), в конечном счете, это приводит к меньшим затратам на монтаж токопроводов с литой изоляцией по сравнению с монтажом токопроводов с воздушной изоляцией.

Таблица 3

Удельная масса токопроводов

Токопроводы с воздушной изоляцией		Токопроводы с литой изоляцией		К _М
тип	удельная масса М1, кг/м	тип	удельная масса М2, кг/м	К _М = М1/М2
ТЭНЕ-10-6000-300УХЛ1	69 - одной фазы, 207 - всех 3-х фаз	ТКЛС(М)-10-6000-312УХЛ1	252,7 - всех 3-х фаз	К _{М1} = 0,819
ТЭНЕ-10-5000-250УХЛ1	46 - на одну фазу, 138 - всех 3-х фаз	ТКЛС(М)-10-5000-255УХЛ1	184,3 - всех 3-х фаз	К _{М2} = 0,749
ТЗКР-6-1600-81УХЛ1	60 - всех 3-х фаз	ТКЛС(А)-6-1600-51УХЛ1	57,3 - всех 3-х фаз	К _{М3} = 1,047

Таблица 4

Удельный объём токопроводов

Токопроводы и шинопроводы с воздушной изоляцией		Токопроводы и шинопроводы с литой изоляцией		К _С
тип	габариты, сечение S1, удельный объём V1	тип	габариты, сечение S2, удельный объём V2	К _С = S1/S2
ТЭНЕ-10-6000-300УХЛ1	D = 55 см Осн. 300 см х 10 см S1 = 3 х 3,14 х 27,5 ² + 300 х х 10 = 1,01 м ² V1 = 1,01 м ³	ТКЛС(М)-10-6000-312УХЛ1	59,7 см х 57 см S2 = 0,34 м ² V2 = 0,34 м ³	К _{С1} = 2,97
ТЭНЕ-10-5000-250УХЛ1	D = 43,2 см Осн. 300 см х 10 см S1 = 3 х 3,14 х 21,6 ² + 300 х х 10 = 0,74 м ² V1 = 0,74 м ³	ТКЛС(М)-10-5000-255УХЛ1	59,7 см х 52 см S2 = 0,31 м ² V2 = 0,31 м ³	К _{С2} = 2,39
ТЗКР-6-1600-81УХЛ1	D = 62,3 см S1 = 3,14 х 31,15 ² = 0,3 м ² V1 = 0,3 м ³	ТКЛС(А)-6-1600-51УХЛ1	59,7 см х 42 см S2 = 0,25 м ² V2 = 0,25 м ³	К _{С3} = 1,2

Пример расчета экономической эффективности применения токопровода с литой изоляцией ТКЛС(М)-10-6000-312 УХЛ1 длиной l = 75 м

Рассматриваемые токопроводы:

Токопровод с литой изоляцией ТКЛС(М)-10-6000-312 УХЛ1

Токопровод с воздушной изоляцией ТЭНЕ-10-6000-300 УХЛ1

Бюджетная стоимость токопроводов с НДС:

ТКЛС(М)-10-6000-312 УХЛ1 – 148 416 руб./м, всего 11 131 200 руб.

ТЭНЕ-10-6000-300 УХЛ1 – 135 582 руб./м, всего 10 168 650 руб.

Затраты на транспортировку

- Транспортировочный объём и масса линий токопроводов:

$$\text{ТКЛС(М)-10-6000-312 УХЛ1} - V_{2m}' = V_{2m} \times l = 0,36 \times 75 = 27 \text{ м}^3 +$$

+ЗИП и комплектующие

$$M_{2'}' = M_2 \times l = 252,7 \times 75 = 19 \text{ т.}$$

Достаточно одной машины

(еврофуры) грузоподъёмностью 20 т.

$$\text{ТЭНЕ-10-6000-300 УХЛ1} - V_{1m}' = V_{1m} \times l = 1,44 \times 75 = 108 \text{ м}^3 + \text{ЗИП}$$

и комплектующие

$$M_{1'}' = M_1 \times l = 207 \times 75 = 15,5 \text{ т.}$$

Нужна одна машина (еврофура)

грузоподъёмностью 20 т и еще одна

машина грузоподъёмностью в 10 т.

Стоимость доставки груза из Москвы до, например, Армянской АЭС машиной грузоподъёмностью 10 т будет порядка 150...200 тыс. руб., в зависимости от сезона. То есть в случае применения токопроводов с воздушной изоляцией только при транспортировке могут возникнуть дополнительные расходы по сравнению с расходами на транспортировку токопроводов с литой изоляцией. В данном примере эти дополнительные расходы составляют 1.5...2% от стоимости самого токопровода с воздушной изоляцией.

Затраты на монтаж

- Объём линий токопроводов при монтаже:

$$\text{ТКЛС(М)-10-6000-312 УХЛ1} - V_{2m}' = V_{2m} \times l = 0,34 \times 75 = 25,5 \text{ м}^3.$$

$$\text{ТЭНЕ-10-6000-300 УХЛ1} - V_{1m}' = V_{1m} \times l = 1,01 \times 75 = 75,75 \text{ м}^3.$$

$$K_C = V_{1m}' / V_{2m}' = 2,97, K_M = M_{1'}' / M_{2'}' = 0,82. K_C - K_M = 2,15.$$

Согласно таблице 8-01-078 [4], прямые затраты на монтаж погонного метра токопровода с воздушной изоляцией будут $3 \times 774,37 = 2323 \text{ руб./м}$, или 1,7% от стоимости токопровода. Так как $K_C - K_M = 2,15$, то затраты на монтаж токопровода с литой изоляцией ожидаются в 2,15 раза меньше затрат на монтаж токопроводов с воздушной изоляцией, т.е. составят $2323 / 2,15 = 1080 \text{ руб./м}$. Разница затрат на монтаж погонного метра токопроводов будет $2323 - 1080 = 1243 \text{ руб./м}$, или примерно 1% от стоимости токопровода с воздушной изоляцией.

Это значит, что экономия затрат на транспортировку и монтаж при применении токопровода с литой изоляцией получается 2,5...3% от стоимости токопровода с воздушной изоляцией.

Выводы. Несмотря на то, что бюджетная стоимость токопроводов с литой изоляцией изначально на 5...15% выше стоимости токопроводов с

воздушной изоляцией, за счет меньшей стоимости транспортировки и монтажа токопровода с литой изоляцией можно сэкономить затраты на 2,5...3% от стоимости токопровода с воздушной изоляцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия ТУ 3414-001-63740123-10. Токопроводы генераторного напряжения / ООО «РТК-Союз». –М, 2010.
2. Технические условия ТУ 3414-002-66892460-2014. Токопроводы комплектные литые типа ТКЛС(А) и ТКЛС(М). ООО «РТК-ЭЛЕКТРО-М». - Павловский Посад, 2016.
3. SuprAI Bridge. Производство токопроводов. Комплектные токопроводы и шинопроводы для объектов энергетики. Техническое описание.
4. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования ФЕРм-2001, Государственные системные нормативы.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.02.2019.

Ա.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՁՈՒԼԱԾՈՒ ՄԵԿՈՒՍՉՈՎ ՀՈՍԱՆՔԱՏԱՐՐԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ ՕԴԱՅԻՆ ՄԵԿՈՒՍՉՈՎ ՀՈՍԱՆՔԱՏԱՐՐԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏ

Օդային և ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարները նախատեսված են էլեկտրականության և էներգիայի և էներգիայի տեղափոխման համար 50 և 60 Հգ հաճախությամբ փոփոխական հոսանքի մինչև 35 կՎ շղթաներում էլեկտրաէներգետիկական սարքավորումների էլեկտրական միացման համար: Օդային մեկուսչով հոսանքատարների սկզբնական արժեքը արտադրման փուլում դրանց կառուցվածքային առանձնահատկությունների պատճառով ավելի ցածր է ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարների արժեքից: Սակայն առաքման, մոնտաժի և շահագործման (սպասարկման) փուլերում կրած ծախսերը ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարների դեպքում զգալիորեն քիչ են: Օրինակ, ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարները շահագործման ընթացքում չեն պահանջում սպասարկում, իսկ օդային մեկուսչով հոսանքատարները պահանջում են պարբերաբար ներկի թարմացում, օդափոխում և մեկուսիչների փոխարինում: Ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարներն ունեն նաև փոքր չափեր, ինչը թույլ է տալիս խնայել հոսանքատարի տեղափոխման և կապիտալ շինարարության համար կատարվող ծախսերում, ունեն ավելի քիչ ակտիվ հզորության կորուստներ, որը թույլ է տալիս խնայել հոսանքատարի ծառայության ողջ ժամկետի ընթացքում: Արդյունքում ստացվում է, որ սկզբնական լրացուցիչ ներդրումները կարճ ժամանակում ետ են գնվում, և ձուլածո մեկուսչով հոսանքատարների կիրառումը էներգահամակարգի տարրերում դառնում տնտեսապես առավել հիմնավորված:

Առանցքային բառեր. հոսանքատար, ձուլածո մեկուսիչ, օդային մեկուսիչ, տնտեսում, տեղափոխում, մոնտաժ, ծախսեր:

A.M. HARUTYUNYAN

**ECONOMIC JUSTIFICATION OF USING A CAST RESIN BUSBAR SYSTEM AS
COMPARED TO AN AIR INSULATED BUS DUCT SYSTEM**

Cast resin and air insulation busbar systems are designed for electrical connections of electrical equipment in power plants and substations in three-phase AC circuit of 50 and 60 Hz and a voltage up to 35 kV. The initial price of the air insulated bus duct system, at the stage of prefabrication, due to its design features, is slightly lower than the price of the cast resin insulated busbar system. However, at the stage of delivery, installation and operation (maintenance) costs for the cast resin insulated busbar system are significantly lower. It is connected with the fact that the cast resin insulated busbar system does not require periodic service during operation. Besides, the cast resin busbar system also has smaller dimensions. As a result, initial additional investments are recouped in a short time, and the use of a cast resin insulated busbar system in power grid facilities is more cost effective.

Keywords: busbar, cast resin insulation, air insulation, economy, transportation, installation, costs.