

УДК 621.315.6(23.0)

DOI: 10.36979/1694-500X-2021-21-8-45-50

**НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ ИЛИ ОЦЕНКЕ  
СООТВЕТСТВИЯ ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
НАПРЯЖЕНИЕМ 110–500 КВ ОРУ И ВЛ С УЧЁТОМ СПЕЦИФИКИ ГОРНЫХ РАЙОНОВ**

*Ю.П. Симаков, В.А. Мезгин, Ш.Б. Дикамбаев*

Рассмотрены особенности выбора внешней изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ с учётом специфики горных районов. Разработан нормативный документ в виде "Инструкции по выбору и оценке соответствия изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ в условиях природных и промышленных загрязнений атмосферы с учётом специфики горных районов".

*Ключевые слова:* внешняя изоляция электроустановок; горные районы; промышленные загрязнения атмосферы; нормативный документ; энергетическая отрасль.

---

**ТООЛУУ АЙМАКТАРДЫН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮН ЭСКЕ АЛУУ МЕНЕН  
110–500 КВ ЧЫҢАЛУУДАГЫ АЧЫК БӨЛҮШТҮРГҮЧТӨРДҮН  
ЖАНА АБА ЧУБАЛГЫЛАРЫНЫН ЭЛЕКТР ОРНОТМОЛОРУНУН ТЫШКЫ  
ИЗОЛЯЦИЯСЫН ТАНДОО ЖЕ ШАЙКЕШТИГИН  
БААЛОО БОЮНЧА ЧЕНЕМДИК ТАЛАПТАР**

*Ю.П. Симаков, В.А. Мезгин, Ш.Б. Дикамбаев*

Тоолуу аймактардын өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен 110–500 кВ чыңалуудагы ачык бөлүштүргүч түзүлүштөрдөгү жана аба чубалгыларындагы электр орнотмолорунун тышкы изоляциясын тандоонун өзгөчөлүктөрү каралды. Ченемдик документ "Тоолуу аймактардын өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен атмосферанын табигый жана өндүрүштүк булгануу шарттарында 110–500 кВ чыңалуудагы электр бөлүштүргүчтөрдүн жана аба чубалгыларынын изоляциясын тандоо жана шайкештигин баалоо боюнча нускама" түрүндө документ иштелип чыккан.

*Түйүндүү сөздөр:* электр орнотмолорун тышкы изоляциялоо; тоолуу райондор; абанын өнөр жай калдыктары менен булганышы; ченемдик документ; энергетика тармагы.

---

**REGULATORY REQUIREMENTS FOR THE SELECTION OR CONFORMITY ASSESSMENT  
OF THE EXTERNAL INSULATION OF ELECTRICAL INSTALLATIONS  
WITH A VOLTAGE OF 110-500 KV OF OUTDOOR SWITCHGEAR AND OVERHEAD LINES,  
TAKING INTO ACCOUNT THE SPECIFICS OF MOUNTAINOUS REGIONS**

*Yu.P. Simakov, V.A. Mezgin, Sh. B. Dikambaev*

The article considers the features of the choice of external insulation of electrical installations with a voltage of 110–500 kV of outdoor switchgear and overhead lines, taking into account the specifics of mountainous regions. The regulatory document has been developed in the form of "Instructions for the selection and conformity assessment of insulation of electrical installations with a voltage of 110–500 kV of outdoor switchgear and overhead lines in conditions of natural and industrial pollution of the atmosphere, taking into account the specifics of mountainous regions".

*Keywords:* external insulation of electrical installations; mountainous regions; industrial pollution of the atmosphere; regulatory document; energy industry.

Необходимость разработки нормативных требований по выбору внешней изоляции электроустановок с учетом специфики горных районов связана со следующими двумя моментами.

Во-первых, в Кыргызстане практически отсутствует база национальных документов в энергетической отрасли. В соответствии с принятым в 2004 г. законом “Об основах технического регулирования в КР” и в 2009 г. законом “О нормативных правовых актах в КР” с 2009 г. утратили силу основополагающие, ранее действовавшие нормативные документы советского периода, в том числе и определяющие правила выбора внешней изоляции электроустановок.

Во-вторых, нормативные документы советского периода, а также и переработанные современные НТД Российской Федерации, которыми пользуются энергокомпании, создавались по результатам исследований работы изоляции в условиях загрязнённой атмосферы в равнинных районах на отметках ниже 1000 м над уровнем моря. А влияние особых условий горных районов на работу изоляции предусмотрено в них только путём учёта изменения разрядных характеристик изоляции с высотой местности (плотности воздуха).

Имеющиеся в Кыргызстане проработки этого вопроса показали необходимость более глубокого изучения влияния специфики горных районов при оценке воздействия загрязняющих выбросов на изоляцию. Отсутствие учёта этого обстоятельства создаёт определённые проблемы, как для сферы промышленности, так и для энергетиков при решении вопросов ввода в эксплуатацию новых объектов.

В Кыргызстане и Таджикистане за последние десятилетия был выполнен цикл работ, включающих исследования характеристик загрязнения линейной и аппаратной изоляции и их электрической прочности в нормальном эксплуатационном режиме и при воздействии перенапряжений. Данные исследования позволили выявить ряд специфических особенностей горных условий, влияющих на надёжность работы изоляции, которые необходимо учитывать при разработке нормативных требований по выбору внешней изоляции.

Рассмотрение последовательности процедур, которые должны быть осуществлены в процессе разработки методики выбора изоляции

показало, что они по функционально-целевым признакам могут быть сгруппированы в четыре блока.

Первый блок – блок характеристик изоляционных конструкций, включает:

- типы и конструктивные параметры изоляторов;
- характеристики загрязняемости изоляторов;
- влагоразрядные характеристики изоляторов.

Результаты исследований такого влияния, выполненные в Кыргызском научно-техническом центре “Энергия” (КНТЦ “Энергия”) и Таджикском научно-исследовательском отделе энергетики (ТаджНИОЭ), свидетельствуют о необходимости их учёта при выборе внешней изоляции.

Второй блок – блок характеристик источников загрязнений, включает два самостоятельных подблока:

- природные загрязнения;
- промышленные загрязнения.

Природные загрязнения характеризуются региональными картами уровней изоляции, разрабатываемыми по специальным методикам на основании изучения региональных природно-климатических условий и опыта эксплуатации электрических сетей в нормальном эксплуатационном режиме. В Кыргызстане карты уровней изоляции разрабатываются специалистами НИИ энергетики и экономики (бывший КНТЦ “Энергия”) и отражают специфику природно-климатических условий нашего горного региона. Региональные карты должны быть обязательной частью нормативного документа по выбору изоляции.

Промышленные загрязнения характеризуются локальными зонами уровней изоляции, которые разрабатываются в табличной форме на основании данных о выпускаемых предприятием видах продукции и её объёмах при условии равномерной циркуляции воздушных масс в приземном слое атмосферы по всем направлениям (румбам) от источника. Градация по степени опасности зон выброса загрязняющих веществ в атмосферу на различных расстояниях от источника производится по результатам многолетних данных опыта эксплуатации электрических сетей в зонах воздействия источника выбросов.

Третий блок – блок, характеризующий распределение выбросов промышленных загрязнений

с учётом фактической “розы ветров” в зоне рассеяния. В горных условиях циркуляции потоков воздуха определяются рельефом местности. Форма рельефа может влиять не только на направление распространения загрязнений, но и на распределение загрязнений по высоте приземного слоя в пределах нескольких десятков метров. В ряде случаев может иметь место возникновение вихревых форм циркуляции на стыке основной горной долины и бокового склонового ущелья. Эта особенность требует проведения специальных исследований с привлечением статистического материала по режимам ветров, разработке методики построения “розы ветров” и её использования при переходе от зональных уровней изоляции (блок 2) к локальной карте уровня изоляции.

Четвёртый блок – блок разработки непосредственно нормативных требований к выбору внешней изоляции.

Разработка национального нормативного документа по выбору внешней изоляции электрооборудования должна осуществляться на основе преемственности с учётом традиционно используемых в Кыргызстане технологий и оборудования с дополнением и уточнением требований, обусловленных спецификой горных районов, а также опытом нормирования в мировой практике. На постсоветском пространстве, в том числе и в Кыргызстане, наибольшее распространение находят российские нормативные требования, адаптированные в последние годы к международным требованиям, разработанным МЭК (Международный электротехнический конгресс). Требования к электрической прочности изоляции сформулированы в Межгосударственном стандарте [1], Правилах устройства электроустановок и стандартах Российской Федерации [2–7].

В настоящее время общепризнанным является подход по установлению нормативных требований к выбору линейной и внешней аппаратной изоляции по условиям работы в нормальном эксплуатационном режиме на основании оценки степени загрязнения (СЗ) атмосферы в районе расположения установки. Последняя определяется по региональным или локальным “Картам степеней загрязнённости”, характеризующим, соответственно, степень загрязнения от природных естественных загрязнений и выбросов

загрязняющих веществ от промышленных предприятий, с учётом “розы ветров”. Конструктивное исполнение изоляции зависит от характеристик применяемых типов изоляторов и особенностей режимов работы электропередачи.

В качестве нормативного параметра принята удельная эффективная длина пути утечки ( $\lambda_3$ ) изоляторов и изоляционных конструкций, по которой рассчитывается требуемая геометрическая длина пути утечки с учетом ряда поправочных коэффициентов в зависимости от конфигурации изолятора, размеров и конструкции изоляции. Выбор изоляции может производиться также по разрядным характеристикам изоляторов и изоляционных конструкций в загрязненном и увлажненном состоянии.

В процессе работы над нормативными требованиями был выполнен сбор и анализ данных по результатам многолетних экспериментальных и теоретических исследований характеристик загрязнения линейной и аппаратной изоляции и их электрической прочности, проведенных как в Кыргызстане, так и за рубежом, позволивших выявить влияние специфических особенностей горных условий на надёжность работы изоляции и учтены требования современных нормативных документов в области выбора изоляции электроустановок. На основе этих исследований был разработан проект нормативного документа “Инструкция по выбору и оценке соответствия изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ в условиях природных и промышленных загрязнений атмосферы с учётом специфики горных районов” (далее Инструкция) [8]. Область применения этой инструкции распространяется на выбор изоляции (изоляторов) электроустановок переменного тока на номинальное напряжение 110–500 кВ. Требования инструкции рекомендуется использовать для применения всеми проектными, эксплуатационными и научно-исследовательскими организациями, занимающимися проектированием и эксплуатацией линейной и подстанционной изоляции в районах с чистой и загрязненной атмосферой, а также проектными организациями, занимающимися проектированием новых промышленных объектов вблизи действующих электроустановок.

Выбор изоляторов или изоляционных конструкций из стекла, фарфора и полимерных

Таблица 1 – Удельная длина пути утечки поддерживающих гирлянд изоляторов и штыревых изоляторов ВЛ на металлических и железобетонных опорах, внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ

Степень загрязнения	$\lambda$ , см/кВ (не менее), при номинальном напряжении (кВ) на высотах над уровнем моря (м)			
	110–500 кВ			
	до 1000	1000–2000	2000–3000	3000–4000
1	2,8	2,9	3,1	3,2
2	3,5	3,7	3,9	4,0
3	4,4	4,6	4,8	5,1
4	5,5	5,8	6,0	6,3

материалов должен производиться по нормированной удельной длине пути утечки в зависимости от степени загрязнённости в месте расположения электроустановки и её номинального напряжения, по разрядным характеристикам в загрязнённом и увлажнённом состоянии или по результатам исследований. Удельная нормированная длина пути утечки поддерживающих гирлянд изоляторов и штыревых изоляторов ВЛ на металлических и железобетонных опорах в зависимости от степени загрязнённости, высоты над уровнем моря и номинального напряжения 110–500 кВ должна приниматься по таблице 1.

Степень загрязнения рекомендуется определять по карте, показанной на рисунке 1. Последний раз карта корректировалась в 2014 г. на основе опубликованных данных по изменению климата КР, и загрязнению атмосферы естественными источниками загрязнения изоляции на территории республики. Были проведены выборочные исследования по уточнению нормативных уровней изоляции электроустановок в зонах повышенной аварийности с привлечением гидрометеорологических данных, для чего был произведен выбор линий электропередачи для демонтажа изоляторов по результатам анализа конструктивных параметров изоляции, опыта эксплуатации, аварийной статистики и отчётных данных по автоматическим отключениям ВЛ 110–500 кВ в нормальном эксплуатационном режиме.

Были выполнены лабораторные исследования по определению удельной поверхностной проводимости слоя загрязнения линейных изоляторов, выборочно демонтированных с воздушных линий электропередачи, для уточнения

степени загрязнённости в районах прохождения линий. По полученным данным установлено, что на территории Кыргызстана в основном преобладают 1 и 2 степени загрязнения. Вместе с тем, лабораторные исследования показали, что в отдельных случаях имеет место 3-я степень загрязнения, однако единичные исследования не позволяют чётко определить границы таких районов.

Удельная длина пути утечки внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ напряжением 6–220 кВ, расположенных на высоте более 1000 м, должна приниматься: на высоте до 2000 м – по таблице 1, а на высоте от 2000 до 3000 м – на одну степень загрязнения выше по сравнению с нормированной.

При выборе изоляции по разрядным характеристикам внешняя изоляция ВЛ, электрооборудования и изоляторы ОРУ напряжением 6–500 кВ должны иметь 50 %-ные разрядные напряжения промышленной частоты в загрязнённом и увлажнённом состоянии не ниже значений, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – 50 %-ные разрядные напряжения гирлянд ВЛ 110–500 кВ, внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ 110–500 кВ в загрязнённом и увлажнённом состоянии

Номинальное напряжение электроустановки, кВ	50 %-ные разрядные напряжения, кВ (действующие значения)
110	110
220	220
500	460

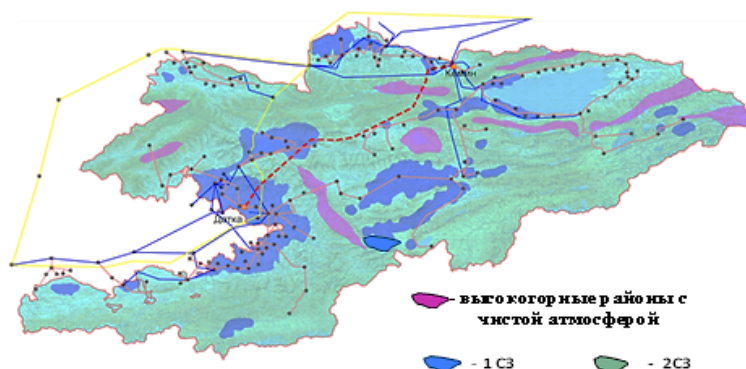


Рисунок 1 – Карта степеней загрязнения Кыргызстана

Удельная поверхностная проводимость слоя загрязнения должна приниматься (не менее):

- для стеклянных и фарфоровых изоляторов: 1-й СЗ – 5 мкСм, 2-й СЗ – 10 мкСм, 3-й СЗ – 20 мкСм, 4-й СЗ – 30 мкСм;
- для полимерных изоляторов: для 1-й СЗ – 2 мкСм, 2-й СЗ – 5 мкСм, 3-й СЗ – 10 мкСм, 4-й СЗ – 20 мкСм.

Учёт снижения разрядного напряжения в горных условиях производится по зависимости:

$$\frac{U}{U_0} = 1 + \alpha \left( \frac{P}{P_0} - 1 \right),$$

где  $U_0$  – разрядное напряжение при нормальном атмосферном давлении  $P_0$ ;  $U$  – разрядное напряжение при давлении  $P$ ;  $\alpha$  – коэффициент, среднее значение которого и его доверительный интервал определяется по таблице, приведенной в инструкции.

В инструкции достаточно подробно с расчетными формулами приведены общие принципы выбора изоляторов воздушных линий электропередачи и распределительных устройств с учетом корректирующих коэффициентов:  $k_L$  – корректирующий коэффициент на использование длины пути утечки у изоляторов с усложненной конфигурацией;  $k_k$  – корректирующий коэффициент на работу изоляторов в составных конструкциях;  $kd$  – корректирующий коэффициент для стержневых (цилиндрических) изоляторов с большим диаметром тела изоляционной части;  $kn$  – корректирующий коэффициент для полимерных изоляторов, учитывающий их меньшую загрязняемость по сравнению со стеклянными и фарфоровыми изоляторами.

Длина пути утечки  $L_h$  изоляторов и изоляционных конструкций, работающих на высоте более 1000 м над уровнем моря, должна определяться по формуле:

$$L_h = L_n \cdot k \cdot k_h,$$

где  $k_h$  – корректирующий коэффициент для изоляторов, работающих на различной высоте над уровнем моря;  $k$  – результирующий корректирующий коэффициент ( $k = k_L \cdot k_k \cdot kd \cdot kn$ );

$L_n = \lambda_n \cdot U_{\phi m}$  – длина пути утечки изоляторов и изоляционных конструкций нормального исполнения;

$\lambda_n$  – удельная длина пути утечки определяется в зависимости от СЗ, высоты над уровнем моря и номинального напряжения электроустановки по таблице 1;

$U_{\phi m}$  – наибольшее фазное напряжение электроустановки.

В приложениях инструкции приведены:

- перечень продукции, выпускаемой предприятиями различных отраслей и подотраслей промышленности, учитываемой при определении её расчетного объема, составленный с учетом Санитарно-эпидемиологических правил с градациями по степени опасности зон выброса загрязняющих веществ в атмосферу на различных расстояниях от источника;
- повторяемости направлений ветра в долинах и котловинах Кыргызстана по данным метеостанций;
- специфические особенности горных условий, влияющие на надёжность работу линейной и аппаратной изоляции;



- предложения по выполнению изолирующих подвесок горных ВЛ 110–500 кВ.

**Выводы.** Сформулированы основные, принятые в настоящее время требования к электрической прочности изоляции, принципы выбора внешней изоляции электроустановок высокого напряжения и рекомендации по выбору и области применения внешней изоляции электроустановок высокого напряжения 110–500 кВ с учетом специфики горных условий.

Приведены значения удельной нормированной длины пути утечки поддерживающих гирлянд изоляторов и штыревых изоляторов ВЛ на металлических и железобетонных опорах, изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ напряжением 6–500 кВ, а также наружной части вводов ЗРУ в зависимости от степени загрязнённости, высоты над уровнем моря (до 4000 м) и номинального напряжения 110–500 кВ. Даны 50 %-ные разрядные напряжения гирлянд ВЛ 110–500 кВ, внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ 110–500 кВ в загрязнённом и увлажнённом состоянии.

#### *Литература*

1. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции. ГОСТ 1516.3–96. Межгосударственный стандарт. Дата введения 1999-01-01.
2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Гл. 1.9 Изоляция электроустановок. М.: “Энас”, 2002. С. 78–99.
3. ГОСТ Р (2008) Изоляторы высокого напряжения для работы в загрязнённых условиях. Выбор и определение размеров. Часть 1. Определение, информация и общие принципы. МЭК 60815-1 (2008).
4. ГОСТ Р (56736-2015) Изоляторы высокого напряжения для работы в загрязнённых условиях. Выбор и определение размеров. Часть 2. Керамические и стеклянные изоляторы для систем переменного тока (МЭК 60815-2:2008).
5. Инструкция по выбору изоляции электроустановок. СТО 56947007, ОАО “ФСК ЕЭС” 29.240.059–2010.
6. Длина пути утечки внешней изоляции электроустановок переменного тока классов напряжения 6–750 кВ. СТО 56947007-29.240.068–2011.
7. ГОСТ Р (56736-2015) Изоляторы высокого напряжения для работы в загрязнённых условиях. Выбор и определение размеров. Часть 3. Полимерные изоляторы для систем переменного тока (МЭК 60815-3:2008).
8. Разработать НПА, определяющий требования по выбору или оценке соответствия внешней изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ в условиях природных и промышленных загрязнений атмосферы с учётом специфики горных районов / Исполнители: к.т.н. В.А. Мезгин, к.т.н. Ю.П. Симков // Отчёт по НИР. НИИЭЭ при ГКПЭН КР. Бишкек, 2018. 51 с.