

Элчиева Малика Сайталиевна - к.э.н., доцент,
Дьячков Юрий Анатольевич – магистрант,
Ошский технологический университет
yurok19750224@rambler.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 500кВ

В статье рассмотрены вопросы повышения пропускной способности воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ путем применения технических мероприятий.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, воздушная линия, пропускная способность, электроэнергия.

Элчиева Малика Сайталиевна – э.и.к., доцент,
Дьячков Юрий Анатольевич – магистрант,
Ош технологиялык университети

500кВ АБА ЭЛЕКТР ЧУБАЛГЫЛАРЫНЫН ӨТКӨРҮҮ ЖӨНДӨМДҮҮЛҮГҮН ЖОГОРУЛАТУУНУ ТЕХНИКАЛЫК ИШ-ЧАЛАРАЛ

Макалада техникалык иш-чаларды колдонуу жолу менен 500кВ чыналуудагы аба электр чубалгаларынын өткөрүү жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу маселелерн каралган.

Ачкыч сөздөр: электр энергетикалык система, аба чубалгы, өткөрүү жөндөмдүүлүк, электр энергиясы

Elchieva Malika Saitalieva – candidate of
economical sciences, associate professor,
Dyachkov Yuri Anatolyevich - graduate student,
Osh technological university

TECHNICAL MEASURES TO INCREASE THE CAPACITY OF OVERHEAD POWER LINES WITH A VOLTAGE OF 500 kV

The article discusses the issues of increasing the throughput capacity of overhead power lines with a voltage of 500kV by applying technical measures.

Key words: electric power system, power transmission line, carrying capacity, electric power.

Гидроэнергетические ресурсы – богатство Кыргызстана. Многочисленные технико-экономические исследования оценивают их гидроэнергетический потенциал по производству электроэнергии порядка 142,5 млрд. кВтч. Скорейшее освоение страной этих возможностей в перспективе позволит кыргызской гидроэнергетике рассматривать возможность крупномасштабного экспорта кыргызской электроэнергии в Казахстан, Россию, Китай, страны Ближнего Востока, Средней и Южной Азии. При этом, основная нагрузка по транспортировке избыточной электроэнергии с юга, где на

Известия ОшТУ, 2020 №1

каскаде нарынских ГЭС вырабатывается более 90% всей электроэнергии страны, на север, который, в свою очередь, потребляет 2/3 всей производимой электроэнергии, ляжет на воздушные линии электропередачи (ВЛЭП), главным и ответственным звеном которых являются ЛЭП напряжением 500кВ. В Кыргызстане такими линиями являются ВЛ «Токтогульская ГЭС- Фрунзенская» протяженностью 207,3км, введенная в эксплуатацию во второй половине прошлого века и ВЛ «Датка-Кемин», протяженностью 404км, введенная в эксплуатацию в 2015г.

Известно, что при длительной эксплуатации ЛЭП, наступает такой момент, когда достигается предел передаваемых по ним мощностей. В свою очередь, постоянно растущие потребности в электроэнергии внутри страны и за ее пределами, требуют от электроэнергетических компаний республики производства и, как следствие, передачи по ЛЭП большего количества электроэнергии. Воздушные линии электропередачи являются основным инструментом транспортировки электроэнергии. Поэтому, с целью повышения их пропускной способности для передачи по ним растущих мощностей на фоне постоянного роста энергопотребления внутри республики и за ее пределами требуется их модернизация. В связи с этим, проблема повышения пропускной способности ЛЭП напряжением 500 кВ, как основных «транзитеров» электрической энергии, сохраняет свою актуальность и в настоящее время.

Необходимо отметить, что по ЛЭП передается полная мощность, представляющая собой сумму активной и реактивной мощностей. Реактивная мощность требуется для создания электромагнитных полей в электротехнических установках и поэтому полезной работы не совершает. Она составляет меньшую часть по отношению к полезной активной мощности. В случае передачи реактивной мощности по ЛЭП, она увеличивает ее полную мощность и приводит к росту тока в ней. Это увеличивает потери электроэнергии в ЛЭП, которые пропорциональны квадрату этого тока. Следовательно, передача реактивной мощности по ЛЭП на большие расстояния с экономической точки зрения невыгодно. Как следствие, целесообразным становится генерирование реактивной мощности в местах ее непосредственного потребления, чем передавать ее от генератора электростанции. В связи с этим, становится важным передача по ЛЭП максимального количества полезной активной мощности. И поэтому вопрос улучшения пропускной способности ЛЭП сводится к решению задачи повышения ее пропускной способности по активной мощности. Таким образом, под пропускной способностью ЛЭП понимают наибольшую активную мощность, которую можно передать по ней с учетом всех технических ограничений.

Задача улучшения пропускной способности ВЛ напряжением 500кВ сводится к применению мероприятий для увеличения ее пропускной способности по передаче активной мощности. Существуют различные способы (мероприятия) увеличения пропускной способности ЛЭП. Все их можно разделить на две группы: организационные мероприятия эксплуатационного характера и технические мероприятия. Прежде чем применить какие-либо мероприятия по повышению пропускной способности линии электропередачи, проводится технико-экономический анализ, который покажет насколько эффективны мероприятия с технической и с экономической точки зрения.

Все технические мероприятия требуют дополнительных капиталовложений и включают всебя следующие классические методы повышения пропускной способности ЛЭП [2]:

1. Строительство дополнительных ВЛ, увеличение числа ее цепей или создание параллельных цепей
2. Использование установок продольной емкостной компенсации и расщепление фазы..
3. Повышение напряжения.
4. Замена проводов перегруженных ВЛ на провода больших поперечных сечений

Первое решение заключается в строительстве дополнительных ВЛ и разделении перегруженной протяженной линии на две части путем создания параллельной цепи является наиболее простым техническим мероприятием. Он повышает пропускную способность линии, снижает потери мощности и напряжения в ней при передаче и, как следствие, сокращает величину недоотпущенной электроэнергии. Основным и главным недостатком этого метода является его капиталоемкость. Применение его на практике требует значительных финансовых вложений и дополнительных расходов. Так, стоимость строительства 1 км линии 500 кВ на железобетонных опорах 3×АС300 на 2016 год составляло 10608 тыс.сом. Протяженность же ЛЭП 500кВ составляет сотни километров («Датка-Кемин»-404км., «Токтогульская ГЭС-Фрунзенская-207,3км.) и больше, поэтому капиталоемкость строительства таких новых ЛЭП очень велика и, как следствие, не улучшает технико-экономические показатели электропередачи. Окупаемость таких ЛЭП растягивается на десятилетия, поэтому найти инвестора для строительства новых ЛЭП сложно, а само государство таких финансовых возможностей в настоящее время не имеет. К недостаткам данного метода так же можно отнести необходимость времени и получения разрешений на установку новых линий и отчуждения земель под их строительство. Применение данного метода требует серьезных технико-экономических обоснований.

Стоит отметить, что такую же мощность можно передавать по ЛЭП при использовании меньшего числа цепей. Для этого линия должна иметь продольную либо поперечную компенсацию. Использовании установок продольной емкостной компенсации, включаемых в рассечку ЛЭП является вторым видом технических мероприятий, позволяющим существенно повысить пропускную способность ВЛ по режиму напряжения [1]. На пропускную способность ЛЭП напряжением 500кВ существенное влияние оказывают электромагнитные процессы протекающие в ней, и являющиеся большой проблемой при передаче по ней электроэнергии. ЛЭП 500кВ имеют достаточно большую зарядную мощность и большое индуктивное сопротивление, которые отрицательно сказываются на ее пропускной способности. Поэтому необходима компенсация их в режиме холостого хода и в режиме малых нагрузок с целью избежания повышения напряжения сверх нормы на концах ВЛ.

Решением данной проблемы является применение различных компенсирующих устройств. Отметим, что пропускная способность линий 500 кВ ограничивается нагревом проводов и устойчивостью электропередачи (статической, динамической).

Мощность, которую можно передать по линии без потерь прямо пропорциональна синусу угла между векторами напряжения начала и конца линии и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению линии и определяется выражением [4, с.2]:

$$P_{\max} = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin \delta \quad (1)$$

- где: U_1 - напряжение в начале линии, кВ;
 U_2 - напряжение в конце линии, кВ;
 X_L - индуктивное сопротивление линии, Ом;
 δ - угол между векторами U_1 и U_2 .

Согласно формуле (1), предельная передаваемая мощность по линии будет при минимальном сопротивлении X_L и значении $\sin\delta=1$ т.е. при $\delta=90$ (рис.1)

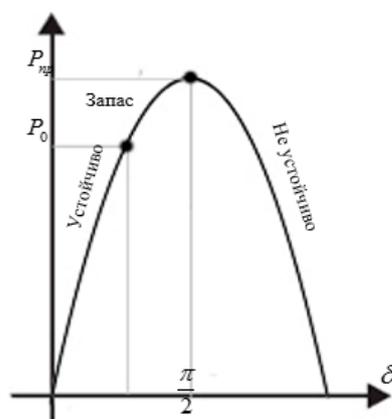


Рис. 1. Пределы передаваемой мощности

Следовательно увеличение передаваемой мощности по ВЛ необходимо производить путем уменьшения ее индуктивного сопротивления X_L и максимально возможного увеличения угла δ между напряжениями в начале и в конце линии.

Для обеспечения статической устойчивости в нормальном режиме работы ВЛ необходимо, чтобы коэффициент по передаваемой мощности в формуле (2) был больше 20 %, а в аварийном режиме больше 8 % [4, с.2]:

$$k_p = \frac{P_{пр} - P_0}{P_0} \quad (2)$$

где: $P_{пр}$ - предельная передаваемая мощность по ЛЭП при $\delta=90^\circ$, кВт;

P_0 - номинальная передаваемая мощность, кВт.

Применение продольной компенсации является самым распространенным и целесообразным средством повышения пропускной способности ЛЭП, когда последовательно в линию включаются конденсаторы УПК (устройства продольной компенсации), уменьшающие ее результирующее реактивное сопротивление. Применение компенсирующих и управляющих устройств позволяет увеличить передаваемую мощность по ВЛ уменьшая ее индуктивное сопротивление и максимально возможно увеличивая угол между напряжениями ее в начале и в конце линии. На сегодняшний день для таких целей используют: ФПУ, СТАТКОМ, СТК, ТУПК, АСК, ОРПМ и другие, что тоже приводит к значительным дополнительным затратам. Мощность и место размещения УПК на линии должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами. При умеренной величине продольной компенсации ограничиваются одной УПК на линии. Если сопротивлениями конденсаторов УПК компенсируется более 50 % сопротивления линии, то необходимо установить УПК не меньше чем на двух подстанциях. Сосредоточение слишком большого компенсирующего сопротивления в одном месте приводит к увеличению кратности внутренних перенапряжений и вызывает трудности в обеспечении правильного действия применяющихся в настоящее время устройств релейной защиты.

На мощных подстанциях напряжением 500 кВ можно применять синхронные компенсаторы с регуляторами сильного действия, которые предназначены, как для регулирования напряжения, так и для повышения устойчивости электрической системы. Синхронные компенсаторы могут быть заменены на ИРМ (источники реактивной мощности), которые могут выдавать или поглощать из линии реактивную мощность и тем самым обеспечивать поддержание напряжения в точке их присоединения. Применение регулируемых устройств поперечной компенсации позволяет изменять характеристики линии, ее натуральную мощность и вести режим так, чтобы натуральная мощность всегда соответствовала передаваемой. При этом достигается наиболее благоприятное распределение напряжения вдоль линии, увеличивается ее пропускная способность.

К числу главных технических мероприятий по улучшению пропускной способности линий электропередачи относится расщепление фаз на несколько проводов, что ведет к уменьшению индуктивного и волнового сопротивлений и увеличению емкости и естественной мощности линий электропередачи. Индуктивное сопротивление линий 500 кВ снижают с помощью расщепления фазы, когда фазу выполняют не из одного, а из трех параллельных проводов. Данный метод имеет те же недостатки, что и предыдущие, помимо этого, при увеличении числа проводов расщепленных фаз, усложняется конструкция и возрастает стоимость линии в совокупности.

К третьему виду технических мероприятий относится способ решения проблемы путем повышения номинального напряжения, который позволяет увеличить пропускную способность линии по критерию минимума потерь напряжения. Существенным недостатком данного решения так же являются дополнительные расходы, связанные с модернизацией не только самой ЛЭП, но и для повышения класса изоляции нового электрооборудования подстанций и связанного с этим демонтажа старого и установки нового электрооборудования подстанций и опор.

Четвертым видом технических мероприятий является решение проблемы путем замены проводов перегруженных ВЛ на провода больших поперечных сечений. Способ повышает пропускную способность ВЛ по нагреву, улучшению режима напряжения, повышению надежности электроснабжения. Нагрев проводов ЛЭП выше 70°C приводит к ускоренному их окислению и, как следствие, нагреву контактов, соединяющих отрезки этих проводов и влечет за собой возрастание потерь энергии в нем. Металл таких проводов начинает быстро окисляться, и с учетом поверхностного эффекта, когда электрический ток течет по внешней стороне проводника, окислившиеся провода к дальнейшей эксплуатации уже не подлежат. Замена проводов ВЛ на провода больших поперечных сечений оказывается не всегда возможной, поскольку провод большего сечения обладает большей массой, на которую старые опоры часто не рассчитаны, поэтому требует установки новых опор ВЛ большего размера. Причем надо учитывать, что при замене уже существующего провода на провод большего сечения, к стоимости и установки нового провода прибавится стоимость демонтажа старого провода. В результате, увеличение сечения проводов ВЛ, приводит к очень большим затратам по модернизации линии, а сроки их окупаемости достаточно велики, поэтому такое решение становится экономически нецелесообразным. Стоит отметить, что пропускная способность ЛЭП 500кВ мало ограничивается нагревом проводов, а в большей степени ограничивается ее электромагнитными свойствами: емкостью и индуктивностью, которые зависят от конструкции и длины линии, поэтому ограничения ее пропускной способности по нагреву выражены довольно слабо.

На практике наиболее эффективными методами по улучшению пропускной способности являются составные методы. В них одновременно применяются сразу несколько технических мероприятий: например, расщепление фаз и установка продольной компенсации. Так, совместное использование последовательной конденсаторной и параллельной индуктивной компенсации на воздушных линиях является наиболее эффективным и обеспечивает наилучший результат по улучшению их пропускной способности. Но для дальних электропередач, применение данного метода, требует установки дополнительных сложных установок, надежной их работы и дополнительного обслуживания их в процессе эксплуатации. И все же, одновременное применение нескольких технических мероприятий позволяет более результативно повышать пропускную способность ЛЭП и передаваемую по ней мощность по сравнению с предыдущими одиночными традиционными решениями.

Перспективными современными направлениями в решении вопроса по повышению пропускной способности ЛЭП являются разработки по передаче

электрической энергии: по самокомпенсирующимся ЛЭП; по ЛЭП постоянного тока; по одноцепным супер компактным ЛЭП.

Самокомпенсирующиеся ЛЭП могут содержать несколько цепей. Фазы их могут состоять из одиночных или расщепленных проводов. Такие ЛЭП предусматривают компенсацию реактивного сопротивления и установку регулируемых устройств. Они механически изменяют параметры по заданному закону в зависимости от необходимого режима работы электропередачи, нужной пропускной способности, показателя резерва стабильности и т.д. Управление такой линией происходит целенаправленно в зависимости от необходимого режима передачи электроэнергии и является кибернетическим устройством, требующим для своей работы особого оборудования. Строительство и эксплуатация такой линии сопровождается определенными сложностями из-за необходимости специальных кадров, владеющих навыками монтажа, настройки и эксплуатации трудных кибернетических устройств.

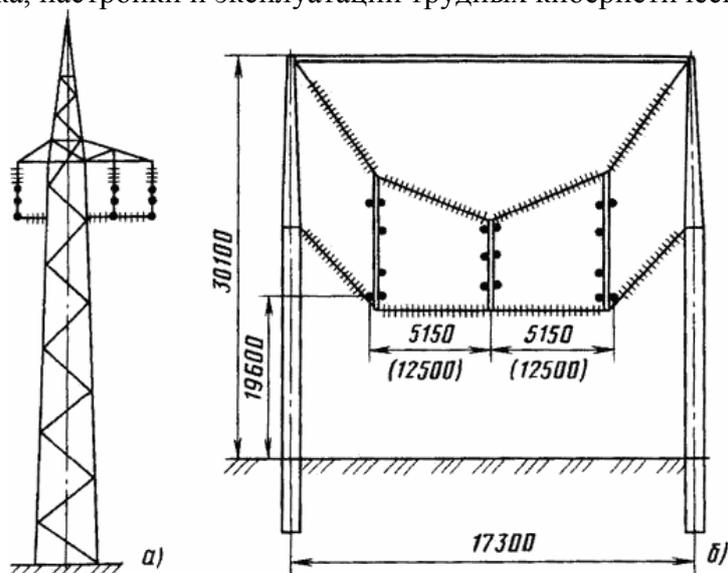


Рис. 2. Конструкции компактных воздушных линий: а - 110 кВ; б - 500 кВ.

В скобках показаны для сравнения расстояния между фазами для обычных воздушных линий электропередач

Напомним, что низкая пропускная способность обыкновенных ЛЭП объясняется тем, что цепи и фазы у них разнесены на большие расстояния, и поэтому их взаимное электромагнитное воздействие невелико. Значительно увеличить пропускную способность ЛЭП можно если передавать электроэнергию по одноцепным суперкомпактным ЛЭП.

В основе конструкций перспективных компактных ЛЭП лежит идея значительного сближения фаз линии путем установления между ними жестких изолирующих распорок (во избежание замыкания) устранив при этом раскачивание ветром проводов, не опасаясь электрического пробоя или механического повреждения вследствие соударения проводов при сильном ветре. Образцы таких распорок разработаны. и составлены проекты будущих компактных воздушных линий электропередач (рис. 2.б.).

Расчеты показали, что расстояние между фазами компактной ЛЭП напряжением 500кВ составляет 5,15м что в два раза меньше чем у обычных ЛЭП(12,5м) этого же класса напряжения (рис.2.б). Соответственно, при меньших по сравнению с обычными ЛЭП размерами, компактные ВЛ приобретают повышенную пропускную способность за счет увеличением числа ее проводов в каждой фазе и наилучшим их расположением в пространстве. Провода расщепленных фаз компактных ЛЭП можно монтировать не все сразу, а постепенно доводить числа проводов в фазах до проектного по мере

повышения фактических нагрузок. Например, если мощность, передаваемая по ЛЭП напряжением 500 кВ с тремя проводами сечением по 500 мм² в фазе, составляет около 900 МВт, то для компактной ЛЭП 500 кВ с десятью проводами сечением по 300 мм² в фазе пропускная способность увеличится втрое и достигнет 2700 МВт.. Стоимость такой ЛЭП при этом возрастет по сравнению со стоимостью обычной ЛЭП вследствие применения более прочных опор и повышения сложности монтажа проводов, однако затраты окупятся увеличением возможной дальности электропередачи при допустимых потерях энергии или снижением потерь при той же дальности. Недостатком таких ЛЭП является затруднение регулирования их параметров из-за отсутствия сдвига фаз.

В настоящее время ведутся разработки по усовершенствованию передачи электроэнергии по ЛЭП постоянного тока. Пропускная способность такой ЛЭП не зависит от ее электромагнитных свойств: емкости, индуктивности и волнового сопротивления. Известно, что индуктивное сопротивление линии постоянному току отсутствует. Следовательно, ограничение пропускной способности такой ЛЭП определяется только ее длиной и активным сопротивлением. Предел мощности, передаваемой по такой ВЛ выше, чем у линии переменного тока. Причем, отсутствие поверхностного эффекта в проводнике при протекании по нему постоянного тока делает равномерным распределение последнего по проводнику. Поэтому, для передачи электрической мощности на постоянном токе необходимы провода меньшего сечения, чем при передаче этой же мощности на переменном токе. Использование ЛЭП постоянного тока для передачи электроэнергии имеет ряд существенных недостатков, существенно ограничивающих использование таких линий на практике. Связано это с тем, что все генераторы и трансформаторы в электроэнергетической системе работают на переменном токе, а сама линия работает на постоянном, поэтому для ее функционирования необходима установка инверторов и выпрямителей, а, следовательно, дополнительное строительство дорогих преобразовательных подстанций. К тому же инверторы потребляют большое количество реактивной мощности и, как следствие, требуют установки рядом с ними дополнительных компенсирующих устройств. Следовательно, перевод ЛЭП напряжением 500 кВ на постоянный ток, является дорогостоящим и достаточно сложным мероприятием, требующем для этого серьезных технико-экономических обоснований. В целом же, с экономической точки зрения, более эффективными по передаче электрических мощностей остаются линии переменного тока.

Заключение

Проблема повышения пропускной способности ЛЭП напряжением 500кВ остается актуальной для Кыргызстана и в настоящее время. Все традиционные технические мероприятия по улучшению пропускной способности ЛЭП напряжением 500кВ требуют от электроэнергетических предприятий дополнительных, порой значительных капиталовложений на строительство новых или модернизацию уже введенных в эксплуатацию ЛЭП. Новые пути повышения пропускной способности ЛЭП и современные тенденции в этом направлении, на сегодняшний день, так же требуют значительных капиталовложений или имеют достаточно много технических ограничений для широкого их применения. Поэтому актуальной становится необходимость повышения передаваемой мощности, по возможности, избегая строительства новых линий, полной перестройки уже существующих линий, подвески новых цепей и т.д. В связи с этим, экономически целесообразными остаются технические мероприятия по модернизации уже существующих ЛЭП чем строительство и введение в эксплуатацию новых ЛЭП. Наилучшего результата в этом направлении достигают технические мероприятия использующие составные методы, позволяющие одновременно применять сразу несколько технических мероприятий.

Литература:

1. **Александров, Г.Н.** Передача электрической энергии переменным током [Текст] / Г.Н. Александров // учебное пособие-Л.: Энергтоиздат, 1990.-176с.
2. **Веников, В.А.** Дальние электропередачи переменного и постоянного тока [Текст] / В.А. Веников, Ю.П. Рыжов // Учебн. пособие для вузов - М: Энергоатомиздат, 1985.-272с.
3. **Степанов, А.Г.** Увеличение пропускной способности как средство повышения энергетической эффективности работы ЛЭП [Текст] / А.Г. Степанов, С.Е. Меньшенин // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2016, С. 92-95. — URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/165/10167/>.
4. **Кочкин, В. И.** Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП [Текст] / В.И. Кочкин // Новости ЭлектроТехники. — 2007. — № 3. — С. 45.
5. **Федоров, Н.А.** Энергоэффективность и энергосбережение в электросетевом хозяйстве страны за счет применения инновационных проводов нового поколения [Текст] / Н.А. Федоров // «Воздушные линии», научно-технический журнал – 2012г. – № 1 (6)– с.31-34.