

БОЛЬШИЕ ПЕРЕХОДЫ ВЛ 110–750 кВ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРОСТРАНСТВА

СЕНЬКИН Н.А., АО «НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС», К.Т.Н.

Статья продолжает анализ инновационных технических решений, применяемых при проектировании и строительстве воздушных линий электропередачи высокого напряжения (ВЛ) Единой национальной электрической сети (ЕНЭС). Впервые эти статьи появились почти 10 лет назад и опубликованы в 11 номерах журнала «Энергоэксперт», начиная с № 6 за 2012 год [1], и были приостановлены во второй половине 2014 года в ожидании актуальной информации по большим переходам (БП) ВЛ

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, схемы больших переходов, опоры, фундаменты, провода



Николай Александрович
СЕНЬКИН

Большие переходы ВЛ – переходы через крупные водные преграды и горные ущелья – самые большепролетные сооружения, пролет которых между несущими опорами составляет не менее 700 м и достигает нескольких километров, а высота опор превышает 50 м и, бывает, исчисляется сотнями метров [2–4].

Наиболее грандиозный большой переход в мире был возведен в 2010 году для ВЛ 220 кВ через морской залив между материковой частью Китая и энергосистемой о. Чжоушань (Zhoushan), который был основан на самых высоких решетчатых опорах 370 м с максимальным пролетом между ними 2700 м (http://en.wikipedia.org/wiki/Zhoushan_Island_Overhead_Powerline_Tie). Если следовать высотному ранжиру, то переход № 2 построен еще в 2004 году для двухцепной ВЛ 500 кВ также в Китае через Янцзы, основан на двух решетчатых промежуточных опорах высотой 346,5 м с пролетом между ними 2303 м. Это огромные циклопические сооружения с высотными башнями «дунайского» типа, оборудованные лифтами для обслуживания, с расстояниями между фундаментами в опорной части 68,0×68,0 м и весом 4192 тн каждая (https://vk.com/topic-9056086_22130910).

Однако самый протяженный пролет в мире 5376 м принадлежит одноцепной ВЛ 132 кВ

«Buksefjord – Nuuk», построенной в 1993 году норвежской компанией Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk через фьорд Амералик в Гренландии. Натянута 4 стальных провода (один запасной) диаметром 40 мм с габаритом над водной поверхностью 128 м. Каждая опора держит по одному проводу, на северном берегу опоры расположены на горе на высоте 444 м, а на южном – на высоте 1013 м (https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.b40dd9be-61d9bc5c-7c95f710-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Ameralik_Span#North_End).

В России самый высотный переход ВЛ 500 кВ «Приморская ГРЭС – ПС Хабаровская» через Амур и Амурскую протоку, спроектированный Научно-исследовательской лабораторией конструкций электросетевого строительства (НИЛ-КЭС) института «Севзапэнергопроект» и осуществленный МК-6 треста «СевЗапЭлектроСетьСтрой», был введен в эксплуатацию в 2002 году, имеет общую протяженность более 4 км и устроен на 9 опорах высотой до 191 м, установленных на монолитные фундаменты – буронабивные сваи длиной 40 м с ростверком из трубобетона. Аналогичный переход через Обь пролетом 1584 м на трубчатых опорах высотой 188 м (АТ-188) был спроектирован также

LARGE CROSSINGS OF 110–750 kV OVERHEAD LINES THROUGH WATER SPACES

Senkin N.A., JSC «STC Rosseti FGC UES», Ph.D.

The article continues the analysis of innovative technical solutions used in the design and construction of high voltage overhead power lines (HVL) of the Unified National Electric Grid (UNEG). These articles first appeared almost 10 years ago and were published in 11 issues of the Energoexpert magazine, starting with No. 6 for 2012 [1], and were suspended in the second half of 2014 [2] pending up-to-date information on large crossings (BL) VL.

Keywords: overhead power lines, large crossing schemes, supports, foundations, wires

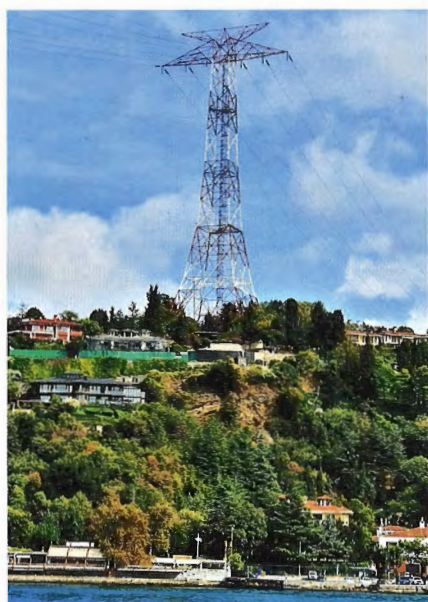


Рис. 1. Однопролетные переходы по схеме 1: правая анкерная опора ВЛ 154 кВ на азиатском берегу пролива через Босфор (фото автора, октябрь 2021); торжественное открытие энергомоста ВЛ 330 кВ через р. Преголя: заход парусника «Крузенштерн» в Морские ворота Калининграда [5] (06.10.2018)

основным проектировщиком в СССР НИЛКЭС Северо-Западного Отделения (СЗО) ин-та «Энергосетьпроект» (Ленинград) под руководством Курносова А.И. (ГИП Андреева А.Н.) и введен в 1967–68 гг.

СХЕМЫ БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДОВ И КОНСТРУКЦИИ

В соответствии с требованиями п. 2.5.150–153 «Правил устройства электроустановок (ПУЭ-7)» в зависимости от типа крепления проводов и тросов опоры, образующие переход, подразделяются на концевые (К) – для установки в начале и конце перехода, промежуточные (П) – с поддерживающим креплением всех проводов, анкерные (А) – с натяжным креплением проводов и комбинированные (ПА) – со смешанным креплением проводов на опоре при помощи как поддерживающих, так и натяжных гирлянд изоляторов. В зависимости от конкретных условий применяются следующие схемы переходов:

- схема 1: однопролетная на концевых опорах К-К;
- схема 2: двухпролетная с опорами К-П-К, К-ПА-К;
- схема 3: трехпролетная с опорами К-П-П-К, К-ПА-ПА-К;
- схема 4: четырехпролетная с опорами К-П-П-П-К, К-ПА-ПА-ПА-К (только для нормативной толщины стенки гололеда 15 мм и менее и длин переходных пролетов не более 1100 м);
- схема 5: многопролетная с опорами К-А...А-К;

■ схема 6: при применении опор П или ПА переход должен быть разделен опорами А на участки с числом опор П или ПА на каждом участке не более двух, то есть К-П-П-А...А-П-П-К, К-ПА-ПА-А...А-ПА-ПА-К (или не более трех по схеме 4).

Однопролетный переход по схеме 1 двухцепной ВЛ 154 кВ, соединяет европейский и азиатский берега Босфора (Стамбул, Турция), построен в 1957 году с пролетом между двумя анкерными опорами 1782 м, высотой каждой опоры 113 м и просветом над поверхностью 59 м (рис. 1).

Самый красивый переход в нашем отечестве построен в Калининграде через р. Преголя для ВЛ 330 кВ «Прегольская ТЭС – Северная» АО «Янтарьэнерго». Великолепный одноцепный переход пролетом 490 м с габаритом 61 м над акваторией выполнен по однопролетной схеме 1 подрядчиком ООО «Сетьстрой» по проекту НИЛКЭС «СевзапНТЦ» (руководитель Качановская Л.И., ГИПы: Константинова Е.Д., Абакумова О.Н., Романов П.И., Ермошина М.С., Ивашевская О.А.).

В целях сокращения высоты переходных опор и повышения пропускной способности на переходе применен термостойкий компактированный провод нового поколения марки GZTACSR 600 со стальным сердечником и залозом, произведенный на российско-бельгийском заводе ООО «Ламифил» (Углич Ярославской обл.). Такой провод позволяет в два раза увеличить

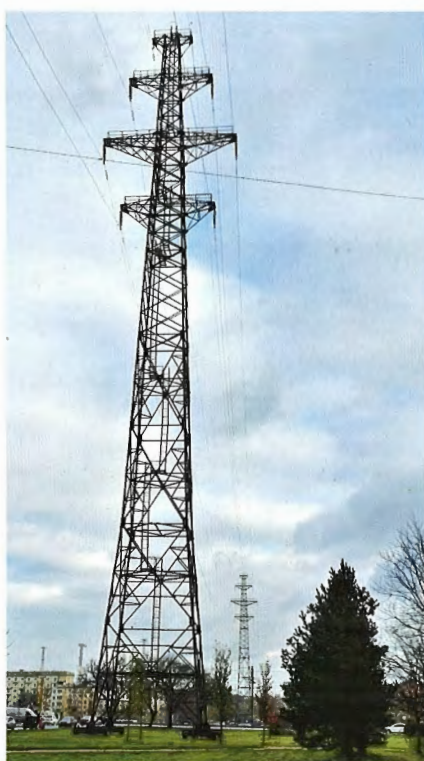
пропускную способность, обеспечивая минимальный провес при нагреве даже до 210°, так как модуль упругости нового провода почти втрое больше, чем у сталеалюминиевого аналога АС600/72. Применены оригинальные анкерные стилизованные опоры ПК 330-85 «Якорь» высотой 112,7 м, изготовленные из труб на известном АО «Опытный завод «Гидромонтаж» в Селятино МО [5].

Такие переходы устраиваются на ограниченных территориях, как правило, в границах населенных пунктов. Они характеризуются повышенным расходом материалов в связи со значительными нагрузками на опоры и фундаменты от проводов и тросов. При установке на крутых берегах, как на переходе через Босфор, возникает проблема их укрепления, например посредством подпорных стенок. Кроме того, на данном переходе отсутствуют грозотросы, которые, похоже, специально сняты для снижения нагрузки на опоры и фундаменты.

В отношении реализации перехода по схеме 2 выдающийся энергетик-строитель, к.т.н. К.П. Крюков, главный инженер СЗО инста «Энергосетьпроект» в своей книге «Переходы воздушных линий через большие водные пространства» [2] привел пример двухпролетного перехода ВЛ 330 кВ через Даугаву с пролетами 614+724 м, построенного по схеме К-П-К с установкой переходной опоры высотой 108 м в пойме реки. Данный вариант по материалоемкости почти всегда



Рис. 2. Типовая переходная промежуточная двухцепная опора ВЛ 110 кВ ПАО «Ленэнерго» № 15 на левом берегу Невы (на правом берегу такая же опора № 16) и конечная анкерная опора № 14 (фото автора, октябрь 2021)



оказывается более выгодным, нежели реализация по схеме 1.

Наиболее распространены переходы по трехпролетной схеме 3, которая, как правило, включает две концевые и две промежуточные либо две анкерные опоры. Именно на эту схему применения были ориентированы «Материалы типовых проектов унифицированных стальных опор ВЛ 110–500 кВ» [2–4],

разработанные в период 1957–1989 гг. в НИЛКЭС Северо-Западного Отделения (ГИП А.Н. Андреева) и в Харьковском отделении «Энергосетьпроект». Например, в Ленинграде в 1962 году был введен в эксплуатацию двухцепный переход ВЛ 110 кВ через Неву (выше Володарского моста) на переходных опорах ПП110-2/60 общей высотой 81,0 м, возведенный Мехколон-

ной № 6 треста «Севзапэлектросетьюстрой». Применен провод АС185/128 и фундаменты – железобетонные грибовидные подножки, попарно объединенные стальными ригелями (рис. 2).

Если переход нельзя составить из типовых унифицированных переходных опор либо такое решение приводит к значительным материальным затратам, то проектируются так называемые специальные переходы, которые возводятся из нетиповых конструкций. Пример такого решения – специальный двухцепный переход ВЛ 110 кВ на промежуточных опорах по схеме 3 с гибкой тросовой траверсой ПГТ110-2/70 высотой 83 м, построенный заново после Великой Отечественной войны также силами МК-6 треста «Севзапэлектросетьюстрой» (рис. 3).

Для иллюстрации многопролетных схем 4–5–6 приведем пример сооружения пятипролетного перехода ВЛ 220 кВ через Лену в Якутии. Его автор А.Н. Андреева из НИЛКЭС СЗО «Энергосетьпроект» пишет: «Река Лена одна из наиболее крупных и многоводных рек Советского Союза. Правый берег имеет крутые склоны, левый представляет обширную пойму. Широкое русло реки и широкая пойма определили большую протяженность перехода 5,5 км. В Томском отделении института «Энергосетьпроект» были выполнены общая часть и выбор вариантов конструктивных схем. Анализ вариантов с интервалом высо-



Рис. 3. Специальный двухцепный переход ВЛ 110 кВ Л1–Л2 ПАО «Ленэнерго» у г. Кировск (Ленинградская область) на промежуточных опорах ПГТ110-2/70 с гибкой вантовой или тросовой траверсой и А-образными оттяжками. Это один из первых переходов через Неву, разрушенный во время Великой Отечественной войны и затем восстановленный [3] (фото автора, июль 2017)

ты 150...250 м показал, что в случае низких опор 150 м обеспечиваются лучшие показатели перехода, а технология изготовления опор высотой 250 м по сравнению с опорами 150 м существенно сложнее из-за более толстого листового и фасонного проката. Переход выполнен двухцепным в габаритах ВЛ 220 кВ по схеме 5 (К-А-А-А-К) с четырьмя переходными опорами с анкерным креплением проводов и тросов и двумя концевыми (рис. 4). На переходе применены провода марки АС300/204 по одному в фазе и стальной канат ТК диаметром 18,5 мм по ГОСТ 3064-66 (сейчас отменен для грозотросов). В связи с отсутствием труб для элементов принят уголкового фасонный и листовой прокат, например пояса створа выполнены крестового сечения из листового проката шириной от 220 до 600 мм и толщиной от 16 до 25 мм [6].

В 1980 гг. в НИЛКЭС под руководством заведующего к.т.н. А.И. Курносова была проведена значительная НИР по исследованию больших переходов через водные преграды на математических моделях при 3, 4 либо 5 расположенных подряд переходных промежуточных опорах. Так провода в пролетах переходов могут неравномерно загружаться гололедными нагрузками и перемещаться в роликовых зажимах. При сбросе гололеда в одном пролете в загруженных соседних пролетах стрелы провеса могут увеличиться до 15–20 м и уменьшиться на 25–30 м в зависимости от размеров пролетов и интенсивности гололедной нагрузки. Кроме того, возможно значительное перемещение провода в роликах, достигающее до 7–12 м в зависимости от количества пролетов и интенсивности гололедной нагрузки. При этом самое большое нарушение габаритов выявлено в четырехпролетных переходах [7], чем вызваны ограничения в ПУЭ-7 (п. 2.5.153) по их применению, т.к. схема 4 разрешена только для условий нормативной толщины стенки гололеда 15 мм и менее и длин переходных пролетов не более 1100 м.

Необходимо отметить, что успешное проектирование и строительство больших переходов в 1970–80 гг. выполнялось в других республиках СССР, в частности на Украине. Так, в связи с отказом от обхода, приводящего к удлинению трассы на 160 км, или дорогостоящему и ненадежному кабельному варианту

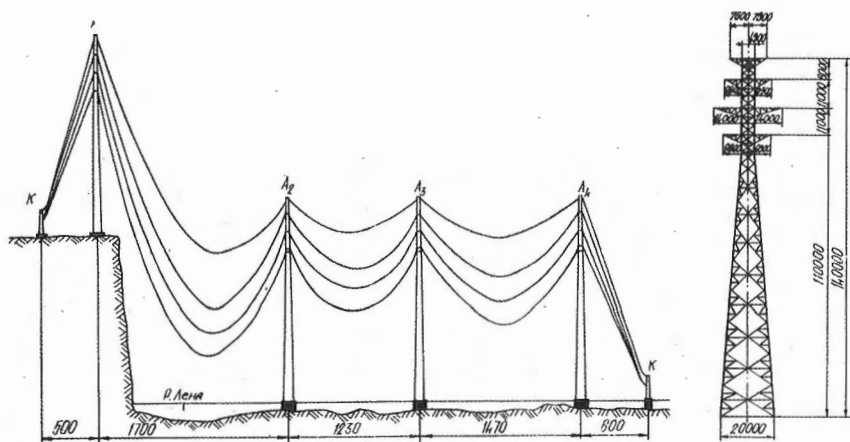


Рис. 4. Многопролетный двухцепный переход ВЛ 110 (220) кВ через р. Лена на четырех переходных анкерных опорах высотой 140 м



Рис. 5. Правобережная промежуточная «качающаяся» опора на оттяжках на совмещенном переходе ВЛ 500/220 кВ через Волгу у Костромы (фото автора, июль 2021)

(70 подводных муфт) принято решение о сооружении ВЛ 330 кВ «Запорожская ГРЭС – Никополь» по кратчайшей трассе с переходом через Каховское водохранилище протяженностью 4,6 км. Проектирование выполнялось по ПУЭ-66, а в качестве оборудования и основных конструкций были приняты: провод АСУС-500, стальной оцинкованный грозотрос ТК сечением 153,8 мм² и двухцепные стальные свободстоящие анкерные опоры. Для сравнения вариантов, отличающихся разными высотами и количеством опор (от 5 до 10 опор, включая 3–8 опор в акватории), выполнен анализ конструкций крупнейших переходов СССР. Поэтому был применен типовый проект «Унифицированные переходные опоры высотой до 100 м для ВЛ 35–330 кВ» (СЗО «Энергосетьпроект, 1971 г.). Окончательно принятый вариант включал 7 свободстоящих переходных анкерных опор высотой от 90 до 100 м, включая

две береговые (за исключением двух концевых), с максимальным промежуточным пролетом 920 м (схема 5). Генпроектировщиком Днепропетровским ОКП Украинского отделения (УО) института «Энергосетьпроект» вместе с УО института «Гидропроект» было принято неординарное решение о наплавных фундаментах для акватории. Такие фундаменты представляли собой открытые сверху герметичные железобетонные цилиндры («стаканы») диаметром 30 м, толщиной 0,4 м и высотой 10,7–12,9 м, которые изготавливались на берегу в открытых котлованах – «сухих доках», загружались щебнем, транспортировались вплавь по воде вместе с опорами, затем устанавливались на щебеночную подводную постель и заполнялись грунтом и водой [8].

В 1972 году был построен грандиозный переход ВЛ 750 кВ «ПС Донбасская – ПС Днепропетровская» через Днепр шири-



Рис. 6. Специальный переход ВЛ 220 кВ «Ухта-Печора» (переход № 1) через р. Печора: правый (пролет 740 м) и левый (660 м) берега, на среднем плане русловая «качающаяся» опора СПК-74 (фото автора, август 2004)

ной 754 м по Схеме 3 на опорах П-79 высотой 79 м (переходной пролет 905 м, общая длина перехода 1505 м). В связи со слабыми лессовыми грунтами, подстилаемыми трещиноватой скалой, массивные железобетонные фундаменты выполнены в виде отдельных блоков под каждую ногу с глубиной заложения до 11,5 м (до скального основания) [9].

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ НА «КАЧАЮЩИХСЯ» ОПОРАХ

Исключительно функциональным и интересным является спецпереход по схеме 3 (К-ПА-ПА-К) через Волгу ВЛ 500 и 220 кВ в районе Костромы с длиной пролета 1065 м и переходными опорами высотой 107 м (рис. 5). Для подвески проводов ВЛ 500 кВ применена средняя траверса, для проводов ВЛ 220 кВ – нижняя траверса, а для несущих грозотросов с натяжными зажимами – верхняя тросовая. Провода ВЛ 500 кВ имеют смешанное крепление к траверсе: подвеска крайних фаз выполнена посредством поддерживающих зажимов, а средней фазы – натяжными зажимами с обводным шлейфом. Причем переходные опоры шарнирно опираются на центральный фундамент и поддерживаются грозонесущими тросами по оси перехода, а поперек – парными оттяжками. Концевые опоры выполнены раздельно под каждую фазу проводов ВЛ 500 и 220 кВ и на каждый грозотрос.

Однако, первым в данной серии комбинированных переходов со смешанным креплением проводов был одноцепный переход ВЛ 500 кВ че-

рез Амударью пролетом 1500 м с применением Т-образных «качающихся» опор высотой 121 м на оттяжках, который был также спроектирован в СЗО «Энергосетьпроект» (гл. инженер К.П. Крюков, ГИП НИЛКЭС А.Н. Андреева) [3] и построен в 1990 году.

А предтечей такого перехода и «качающейся» опоры были переходы на А-образных плоскошарнирных (ПШ) опорах рамного исполнения – «качалках», опирающихся на узкие и высокие русловые фундаменты, как мостовые опоры-быки, с натяжным креплением грозотросов, обеспечивающим опирание опоры вдоль оси ВЛ на несущие грозозащитные тросы, как на оттяжки. С применением ПШ опор типа СПК-74 (специальная промежуточная качающаяся опора общей высотой 74 м) построены переходы ВЛ 110 кВ через р. Вага и р. Пинега в ОАО «Архэнерго». Также в 1970 гг. трестом «Центрстрояэлектротранс» по проекту НИЛКЭС СЗО «Энергосетьпроект» (гл. инженер К.П. Крюков, ГИП А.Н. Андреева) были построены специальные двухцепные переходы в ОАО «АЭК Комэнерго» на линиях ВЛ 220 кВ через реки Печора (1974) и Уса (1975) с применением «качающихся» опор СПК-74 через р. Печора (рис. 6) и СПК-83 через р. Уса (рис. 7) с применением провода АСУС-300 (АС300/204) с усиленным стальным сердечником для проводов и несущих тросов [3,10–13].

На переходе через р. Печора реализована смешанная схема 6 (К1-А1-А2-ПШ-А3-А4-К2), включающая одну промежуточную «качающуюся» опору ПШ (СПК-74) на русловом железобетонном

фундаменте высотой 10 м, четыре анкерных опоры с максимальной высотой 69,9 м и две концевые опоры – бетонные якоря для анкерного крепления несущих грозотросов. Несущие грозотросы крепятся ко всем опорам через натяжные зажимы. Общая длина перехода в окончательном варианте 2210 м (150+450+740+660+360+150). Сравнение с первоначальным вариантом перехода с двумя свободностоящими высотными опорами из бесшовных труб (высота 150 м и пролет между ними 1450 м) показало высокую эффективность применения опор ПШ в связи со снижением стоимости СМР на 20 %, расхода стали – на 77 % и железобетона – на 8 % [10].

Аналогично первоначальный вариант перехода ВЛ 220 кВ через Усу (впадает в Печору) по схеме 3 (К-А-А-К) был спроектирован на трубчатых стальных анкерных опорах АТЛ-188 высотой 188 м с проводом АСУС-500 и тросом ТК-120 [11]. Общая протяженность перехода по данному варианту 2975 м (845+1550+580), а длина основного переходного пролета – 1550 м. Данный переход по размерам вполне подобен переходу ВЛ-500/220 кВ «Тюмень-Сургут» через Обь, построенному в 1970 гг. на опорах типа АТЛ-188.

С целью сокращения стоимости, материалоемкости и сроков строительства створ перехода был устроен ниже по течению Усы (рис. 7) с применением специальных ПШ опор с узкими фундаментами мостового типа, предназначенными для преодоления водных преград с островами, отмелями и широкими пойменными зонами.



Рис. 7. Действующий переход через р. Уса, основной пролет 1550 м (фото автора, июль 2007)

Первоначально схема перехода была принята четырехпролетной (К – СПК-75 – СПК-95 – СПК-95 – К), затем переработана на трехпролетную (К – СПК-83 – СПК-83 – К) с подвеской всех проводов АСУС-300 по схеме «бочка» к опорам СПК посредством роликовых подвесов ПР-6. Здесь общая высота опоры СПК-83 – 83 м, а высота до нижней траверсы – 66,5 м. Таким образом, сокращение затрат на строительство перехода с участком двухцепной ВЛ-220 кВ по сравнению с начальным решением составило 24,5 % на уровне ТЭО [12]. В последнем варианте весьма существенный фактор – протяженная затопляемая пойма, перекрытая опорами относительно небольшой высоты. Кроме того, основные вертикальные габариты перехода во всех вариантах при проектировании приняты с учетом намеченной к строительству в 80 гг. Усть-Ижемской ГЭС по «Программе переброски северных и сибирских рек в Волгу, в бассейн Каспийского и Азовского морей, в Среднюю Азию и Казахстан» (Программа отменена в 1986 году), образующей в районе перехода Усинский залив водохранилища шириной 6–15 км и глубиной затопления до 8–10 м и обеспечивающей дополнительный подъем расчетного уровня воды на 3,0 м (рис. 8).

Будучи студентом-дипломником Ленинградского Инженерно-строительного института (ЛИСИ) автор в 1975 году участвовал в реальных проверочных расчетах данного перехода, в разработке конструкций стальной «качающейся» опоры СПК-83 в дипломном проекте по теме «Стальная опора специального перехода ВЛ 220 кВ». К самой сложной части дипломного проекта был отнесен раздел, посвященный динамическим расчетам опоры СПК-83 в составе перехода. Горжусь тем, что руководите-

лем от ЛИСИ был профессор, д.т.н., заведующий кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений Владимир Антонович Трулль, который в 1966 году защитил докторскую диссертацию по конструкциям воздушных линий электропередачи, а консультировали меня выдающие проектировщики: Кирилл Петрович Крюков, к.т.н., главный инженер СЗО ин-та «Энергосеть-проект» и Александра Николаевна Андреева, ГИП НИЛКЭС.

СОВРЕМЕННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДОВ

В [14] приведены актуальные рекомендации по выполнению подготовительных и строительно-монтажных работ по устройству фундаментов, монтажу опор, проводов и грозозащитных тросов. И в настоящие времена работы на переходах выполняются по указанным рекомендациям, включая монтаж проводов «мерными длинами», их монтаж «под тяжением», монтаж переходных опор кранами способом наращивания и т.д.

Основные задачи «Единой Технической политики в электросетевом комплексе (Положение от 2021 года)» в области энергетического строительства основаны на «трех китах» инноваций: новые высокоэффективное оборудование и строительные конструкции, высокопроизводительная монтажная техника и передовые технологии, а также цифровые автоматизированные системы проектирования и управления [1, 15]. Такая политика начинает приносить свои результаты, прежде всего, в трудоемкости и сокращении сроков строительства, в повышении надежности и безопасности, а также в стоимости электроэнергетических объектов.

Вариантное и индивидуальное проектирование переходов приводят к наибольшему экономическим результатам, что подтверждается примерами из отечественной и зарубежной практики. Так, при проектировании большого перехода ВЛ 345 кВ через озеро Сунер в США компаниями Electrical Consultants Inc. и Valmont-Newmark были разработаны конкретно под проект сталеалюминиевый провод и специальные анкерно-угловые переходные опоры с высотой, не превышающей 61 м. Применение инновационных трехстоечных опор из труб «Тренога» привело к экономии 46 % по расходу основных материалов по сравнению с традиционными опорами [16].

Отраслевой стандарт ПАО «ФСК ЕЭС» «Нормы технологического проектирования ВЛ 35–750 кВ (СТО 56947007-29.240.55.192-2014)» при проектировании и строительстве больших переходов рекомендуют применять современные конструкции проводов нового поколения, отличающиеся высокими технико-экономическими показателями.

Например, в отечественной практике высокотемпературный провод был впервые применен в 2009 году при проектировании двухцепного перехода ВЛ 220 кВ «Пермская ГРЭС – Соболи» через Камское водохранилище общей протяженностью 2080 метров силами НИЛКЭС ПЦ «Севзапэнерго-сетьпроект» ОАО «СевЗап НТЦ». Традиционный вариант перехода был разработан по схеме К-А-А-К с проводами АС 500/336 на трубчатых опорах индивидуальной разработки АТ133 (высота 154 м). Но альтернативный реализованный в 2010 году вариант с тем же пролетом между опорами 1480 м по схеме К-П-П-К с высокотемпературными проводами Lumpi-Berndorf (Бельгия) ACS521-A20SA, тросами Stalium



Рис. 8. Вид на левобережную часть в створе специального перехода: концевые опоры проводов (под каждую цепь) и две промежуточные «качающиеся» опоры СПК-83, поддерживаемые грозозащитными тросами АСУС-300 (фото автора, июль 2007)

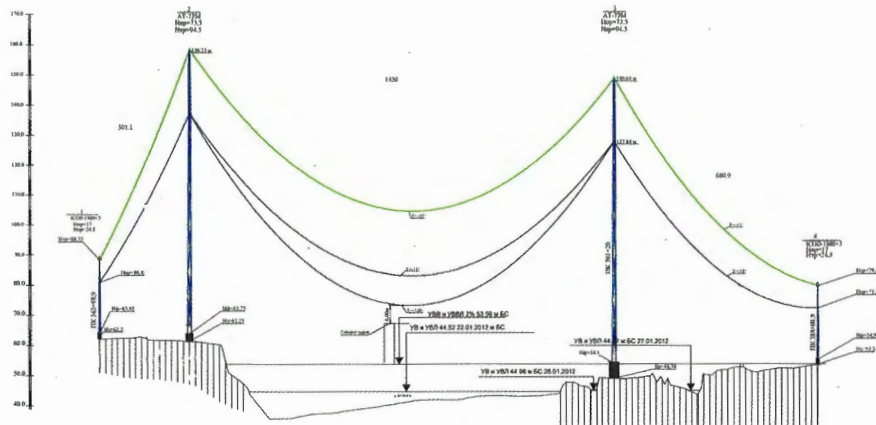


Рис. 9. Продольный профиль перехода ВЛ 220 кВ через судоходную реку Печора (переход №2): общая длина 2402 м (301+1420+681 м), ширина реки в месте перехода 1163 м (высокотемпературный режим провода при $T=+150^{\circ}\text{C}$: максимальная стрела провиса провода по хорде – 59,21 м, расчетный габарит – 6,0 м до судна, габарит судна – 13,0 м)



Рис. 10. Вид на правобережную часть специального перехода ВЛ 220 кВ через Печору перед включением, грозозащитные тросы оборудованы маркерами (12.2021)

5102С со встроенным оптическим кабелем и ACS521-A20SA, арматурой от АО «Электросетьстройпроект» и типовыми опорами ПП330-2/79,5 (высота 106 м) и модифицированными концевыми опорами К330-2+5K позволили понизить высоту промежуточных переходных опор на 48,0 м и сократить сметную стоимость строительства на 17 %. При возведении промежуточных решетчатых опор перехода в 2010 году был использован способ наращивания краном, размещенном внутри конструкции опоры [17, 18].

В декабре 2021 года был сдан в эксплуатацию и успешно заработал большой переход через Печору в составе ВЛ 220 кВ «Печорская ГРЭС – Ухта» (вторая цепь), который был весьма долгожданным и необходимым для электроэнергетики Республики Коми ибо существенно повышал надежность электроснабжения южных и центральных районов республики и увеличил выдачу «запертой» мощности Печорской ГРЭС. Общая длина перехода – 2402 м, а ширина реки в месте пересечения – 1,163 км. На большом переходе установлены четыре металлических опоры по схеме К-А-А-К: две переходные анкерные опоры АТ73М и две концевые К330-1М6+5 (рис. 9–12).

Приняты переходные опоры АТ-73М общей высотой 94,5 м Т-образной конструктивной формы с горизонтальным расположением проводов с элементами из бесшовных горячедеформированных труб группы В.

Сталь для труб принята в соответствии с СП16.13330.2017 с учетом нормирования механических свойств и химсостава по ГОСТ 8731-74 марки 09Г2С по ГОСТ 19281-2014 с показателем ударной вязкости KCV не менее 34 Дж/см² при температуре испытаний на ударный изгиб минус 40 °С.

Конструктивно опоры АТ-73М состоят из отдельных элементов, соединяемых болтами: соединение поясов – на фланцах с высокопрочными болтами класса прочности 10.9 из стали 40Х, а элементов решетки – при помощи болтов класса прочности 8.8 из стали 35Х, работающих на срез. Закрепление гаек при помощи пружинных шайб «гровер», а на фланцах – посредством двух гаек. Все концевые и переходные опоры должны пройти контрольную сборку на заводе, включая сборку узлов опоры АТ-73М.

Повышенные концевые болтовые опоры КЗ30-1М6+5 разработаны как модифицированные на базе типовой унифицированной опоры КЗ30-1 по типовому альбому 3.407.95 (1973) «Унифицированные концевые опоры для больших переходов 35–330 кВ». Опоры трехстоечные с креплением проводов про оси стойки опоры с обводкой шлейфа через консоль (рис. 12).

Для закрепления стоек концевых опор разработаны 6-свайные фундаменты из буронабивных свай (БНС) диаметром 880 мм и длиной 12 м, объединяемые железобетонным ростверком (бетон В30, F200, W8). Для закрепления переходных опор применены 9-свайные фундаменты БНС также с монолитным ростверком. Защита фундаментов от воздействия ледовых полей (расчетные льдины размером 150х150х1,0 м) со стороны течения реки обеспечивается устройством ледорезов из стальных надобл диаметром 1220 мм, общей длиной 15 м, заглубленных в грунт на 8,7 м (рис. 11). Сопротивление заземления опор обеспечивается фундаментами опор, и при этом не превышает значений, указанных в табл. 2.5.19 и п.2.5.129 ПУЭ-7.

Стальные части концевых опор защищаются от коррозии горячей оцинковкой толщиной не менее 80–100 мкм в заводских условиях, как и все выступающие из бетона закладные из стали на всех фундаментах. Для стальных конструкций опор АТ-73М после сварочных работ осуществляется заводская абразивная дробеструйная обработка элементов с последующим нанесением защитной окраски в соответствии с табл. Ц1 СП28.13330.2017 для условий среднеагрессивной среды на открытом воздухе.

Предусмотрена дневная маркировка тросов на ВЛ220 кВ с установкой сигнальных шаров-маркеров, а также дневная маркировка (окраска) чередующимися полосами по п.2.5.293 ПУЭ-7 и ночное светоограждение опор при помощи автономного комплекта энергоснабжения с солнечной панелью, ветрогенератором и аккумуляторами.

На переходе применен высокотемпературный провод марки TACSR/ASC548-F20SA отечественного производства из стали, плакированной алюминием. Механический расчет проводов выполнен по методу допускаемых напряжений на расчетные



Рис. 11. Левобережная анкерная опора АТ-73М на затопляемом половодьем берегу, установленная на четыре стойки монолитных железобетонных ростверков, и ледозащита из 25-ти надобл, объединенных распорками. Позлементный монтаж способом наращивания при помощи «ползучего» крана (фото автора, август 2021 года)

нагрузки нормального, аварийного и монтажного режимов работы ВЛ 220 кВ на сочетании условий, указанных в пп. 2.5.71–74 ПУЭ-7. Для защиты от прямых ударов молнии на переходе подвешено два грозозащитных троса ОКГТ-С-24G/652D с углом защиты на опорах 20°, которые обеспечивают еще и бесперебойную эксплуатацию каналов связи. Расчет изоляторов и линейной арматуры выполнен по методу разрушающих нагрузок в соответствии с требованиями п.2.5.9 ПУЭ-7. Натяжная гирлянда для провода выполнена 6-цепной из 17 изоляторов ПС300В в каждой цепи. Натяжное крепление ОКГТ выполнено неизолированным двухцепным и комплектуется линейной арматурой 90-тонного ряда в каждой цепи. В качестве натяжных зажимов для проводов и тросов применены спиральные зажимы. При этом натяжные спиральные зажимы проводов, а также спиральные шлейфовые зажимы марки ШС-30,47/27,5-04-TACSRIFC, соединяющие основной провод АС 400/51 с проводом TACSR/ASC548-F20SA, разработаны ЗАО «НТЦ Электротехники». Причем провода большого перехода изготовлены и смонтированы одной строительной длиной, без соединительных зажимов.



Рис. 12. Стойки концевой опоры на правом берегу специального перехода ВЛ 220 кВ через р. Печора с выполненной подвеской проводов и тросов, идут монтажные работы по шлейфам (12.2021)

Защита проводов и тросов от вибрации осуществляется многочастотными гасителями типа ГВ.

Анализируя представленное выше техническое описание возведенного и уже успешно эксплуатируемого нового перехода через Печору в составе второй цепи ВЛ 220 кВ «Печорская ГРЭС – Ухта» необходимо сообщить, что этот обстоятельный проект разработан ООО «СЭМ» (Санкт-Петербург) на современном уровне и соответствует «Положению о составе проектной документации и требованиям ее содержанию» (Пост. Правит. РФ от 16.02.2008 № 87). Данный проект выполнен отделом линий ООО «СЭМ» под руководством опытного



Рис. 13. Талантливые первые руководители Северо-Западного Отделения института «Энергосетьпроект»: главный инженер Кирилл Петрович Крюков (1911–1989) и заведующий НИЛКЭС Алексей Иванович Курносов (1922–1987)

ГИПа Павла Александровича Чайки, который прошел высокую школу, работая в «Севзапэнергосетьпроект» 1980–2000-х годов под руководством талантливых руководителей и инженеров. Именно тогда такие корифеи от науки и практики как К.П. Крюков, А.И. Курносков, А.Н. Андреева, Б.П. Новгородцев и другие построили современную теорию расчета и проектирования воздушных линий электропередачи, включая большие переходы через водные пространства (рис. 13–14).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенькин Н.А. Актуальные задачи в проектировании и строительстве воздушных линий электропередачи ЕНЭС: опоры // Энергоэксперт, 2012, № 6. – С. 60–64.
2. Крюков К.П. Переходы воздушных линий через большие водные пространства. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 224 с.
3. Синелобов К.С. Проектирование больших переходов линий электропередачи // Энергетическое строительство, 1974, №6. – С. 64–68.
4. Боровский М.М., Диков Е.П., Франц Ю.Ф. Сооружение переходов воздушных линий электропередачи через водные преграды (обзор). – М.: Информэнерго, 1970. – с. 48.
5. Шарышев К.А. Возможности промышленного дизайна при проектировании ВЛ Единой энергетической системы России // Научно-технический журнал РУМ, 2018, № 5. – с. 50–55.
6. Андреева А.Н. Сооружение перехода через реку Лену // Экспресс-информация: Сооружение линий электропередачи и подстанций. Вып. 5. – М.: Информэнерго, 1985. – С. 1–6.
7. Курносков А.И., Падва И.Г., Синелобов К.С. Проектирование больших переходов ВЛ через водные преграды на основе многопролетных схем // Про-



Рис. 14. Сектор электросетей «Лентеллоэлектропроект» (ЛОТЭП) под руководством начальника К.П. Крюкова (1961): Новгородцев Борис Павлович (1904–1983), Левандо Константин Петрович (1904–1991), Штин Станислав Александрович (1933–1996), Андреева Александра Николаевна (1920–1992), Токарева Нина Дмитриевна (1928–1997), Плахова Маргарита Михайловна, Шкловская (Элькинд) Виктория Давидовна, Кириллова Людмила Вильгельмовна (1932–1996), Никиштова Ольга Михайловна

- грессивные решения в электросетевом строительстве: Сб. научн. трудов, посвященный памяти А.И. Курносова / М., Энергосетьпроект, 1988. – С. 68–81.
8. Гугель Ю.С., Фесик Л.Н., Хлебникова С.И. Переход через Каховское водохранилище ВЛ 330 кВ Запорожская ГРЭС – Никополь // Энергетическое строительство, 1974, № 4. – С. 54–61.
 9. Иванов И.Н., Пикалов В.Ф., Камков П.А. Сооружение опор на переходе ВЛ 750 кВ Донбасс–Днепр через Днепр // Энергетическое строительство, 1974, № 5. – С. 61–63.
 10. Крюков К.П., Еременко В.В. Конструкция перехода ВЛ 220 кВ Ухта – Печора через р. Печору // Энергетическое строительство, 1975, № 10. – С. 67–71.
 11. Крюков К.П., Еременко В.В. Организация работ при сооружении перехода ВЛ 220 кВ Ухта–Печора через р. Печору // Энергетическое строительство, 1975, № 11. – С. 61–67.
 12. Овчаров Э.А. Особенности конструктивных решений ВЛ 220 кВ «Печора–Усинск» // Энергетическое строительство, 1974, №6. – С. 56–60.
 13. Виноградов Д.Е. Монтаж переходных опор. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 112 с.
 14. Пособие по сооружению сложных переходов ВЛ через водные преграды 15/152ВЛ-Д / Г.Н. Эленбоген и др. М.: Оргэнергострой, 1989. – 120 с.

15. Сенькин Н.А. Задачи по внедрению инновационных технических решений опор и фундаментов при проектировании, строительстве и эксплуатации ВЛ 220–750 кВ // Сб. докладов конф. «Инновационные проекты в электросетевом комплексе. Прилож. к журн. «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2010, № 2. – С. 54–59.
16. Джарон Т. Ризэй, Абе Дилворт. Выходя за рамки привычного. Большие переходы требуют инновационных подходов // Transmission & Distribution World. Прилож. к журн. «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2015, № 5. – С. 18–21.
17. Качановская Л.И., Ермошина М.С., Константинова Е.Д., Ивашевская О.А., Романов П.И. Проектирование больших переходов ВЛ через водные преграды с применением высокотемпературных проводов // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2013, № 1. – С. 54–56.
18. Тимашова Л.В., Никифоров Е.П., Назаров И.А., Мерзляков А.С., Ермошина М.С., Качановская Л.И., Константинова Е.Д., Романов П.И., Колосов С.В., Шкапцов В.А. Повышение надежности воздушных линий электропередачи и оптимизация их проектирования при применении проводов нового поколения (CIGRE Session 2014, B2-205). – 12 с.