

# Анализ возможности перевода ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на постоянное напряжение

А.В. Гофман<sup>1</sup>, Е.А. Иванова<sup>2</sup>, О.В. Кустова<sup>2</sup>, Н.А. Кустов<sup>2</sup>, Н.С. Ярох<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «СО ЕЭС»

<sup>2</sup> Научно-исследовательский Институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация** — В российской энергосистеме имеются ограничения по допустимому перетоку мощности в сечениях, которые учитываются на всех этапах от долгосрочного планирования до ведения режима в реальном времени. Решение данной проблемы и одновременное обеспечение статической устойчивости возможно, например, путем перевода ЛЭП на более высокий класс напряжения или строительства второй цепи ВЛ. В статье предлагается рассмотреть возможность увеличения пропускной способности существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра путем реконструкции существующей ВЛ 220 кВ переменного напряжения или перевода ее на постоянный ток. Сравнение вариантов производится в том числе и по величине затрат, необходимых для их реализации. В работе проведен анализ мощности, передаваемой по существующей ВЛ 220 кВ и возможности увеличения мощности в двух рассматриваемых вариантах. Перечислены мероприятия по реконструкции ВЛ переменного тока и по переводу ВЛ переменного тока на постоянный ток. Оценены капиталовложения, необходимые для реализации каждого из предлагаемых вариантов.

**Выводы:** Эксплуатация существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на переменном напряжении ограничена рядом факторов (недостаточностью габаритов «провод-земля» и пр.). Перевод ВЛ на постоянный ток позволяет увеличить пропускную способность и повысить надёжность работы линии. Данное решение позволяет также регулировать переток мощности по ВЛ в широком диапазоне.

**Ключевые слова** — линия электропередачи, электропередача постоянного тока, пропускная способность, мощность электропередачи, реконструкция высоковольтной линии

## Analysis of possibility of conversion of 220 kV Saratovskaya – Kubra AC line to DC voltage

Andrey Gofman<sup>1</sup>, Elena Ivanova<sup>2</sup>, Olga Kustova<sup>2</sup>, Nikolai Kustov<sup>2</sup>, Nina Yarokh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC «SO UPS»

<sup>2</sup>High Voltage Direct Current Power Transmission Research Institute  
Saint-Petersburg, Russia

**Abstract** — In Russian power electrical systems there are strict limitations of the allowable power flow in the cross-sections to be considered in the all stages from the long-range planning to the real-time mode maintenance. Solving these issues and providing the steady-state stability at the same time is possible by conversion of AC line to the higher voltage level or the secondary circuit constructing. The advantages of the AC line to DC voltage conversion are transfer capacity increasing without allocate land square enlargement and minimization of reconstruction costs. In the paper it is suggested to consider the possibility of transfer capacity increasing in existing 220 kV Saratovskaya - Kubra AC line by reconstruction of this AC line or by conversion it to DC voltage. Comparison of these alternatives is developed also by considering the costs are needed to projects implementation. The analysis of the power transmitted by the existing 220 kV AC line and possibility of transfer capacity increasing in two alternatives are considered. The essential procedures of AC line reconstruction and AC line to DC voltage conversion are listed. The investments required for the implementation of each of the proposed alternatives are estimated.

**Conclusions:** The operation of the existing 220 kV Saratovskaya - Kubra AC line is limited by a number of factors (lack of the "wire-to-earth" size and so forth.). Conversion of the AC line to DC allows increasing the transfer capacity and improving the reliability of the line. This solution also allows power flow regulating on a wide range.

**Keywords** — electrical power transmission line, HVDC system, short circuit, transfer capacity, power flow, high-voltage line reconstruction

## I. ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и строительство передач постоянного тока является одним из приоритетных направлений в области электроэнергетики многих стран мира. Опыт применения этих передач показывает снижение затрат и одновременное увеличение пропускной способности.

В мировой практике также известны случаи перевода линий переменного напряжения в режим передачи постоянного тока [1, 2]. Преимуществами такого решения являются увеличение пропускной способности без увеличения площади отводимой земли в постоянное пользование, а также сведение к минимуму затрат на реконструкцию.

В России имеется необходимость увеличения пропускной способности существующих линий электропередач. С этой целью целесообразно рассмотреть вариант перевода этих линий на постоянный ток.

В качестве первого примера такого решения ПАО «ФСК ЕЭС» предложило рассмотреть возможность увеличения пропускной способности существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра.

## II. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

По состоянию габаритов ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра снижена допустимая токовая нагрузка (например, для температуры окружающей среды 25°C допустимая токовая нагрузка составляет 650 А вместо 915 А). По этой причине при максимальной генерации Саратовской ГЭС и Балаковской АЭС и температуре окружающей среды свыше 20÷25 °С возможна токовая перегрузка ВЛ 220 кВ СарГЭС – Кубра в нормальной схеме электрической сети. В целях предотвращения перегрузки ВЛ 220 кВ СарГЭС – Кубра выполнялось размыкание транзита ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра с отпайкой на ПС Возрождение на ПС 220 кВ Кубра. В 2013 году ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра с отпайкой на ПС Возрождение была отключена более 6 месяцев, из них приблизительно 4 месяца – с 04.05.13 по 13.05.13, с 15.05.13 по 31.05.13 и с 05.07.13 по 24.10.13 - для предотвращения перегрузки по току.

В 2008 году был выполнен проект реконструкции существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра для увеличения ее пропускной способности на переменном напряжении. В этом проекте предусматривается подстановка новых опор в каждом пролете, замена провода и троса, замена изоляции и линейной арматуры, ремонт существующих опор и фундаментов.

## III. АНАЛИЗ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Существующая пропускная способность ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра составляет 143 МВА. Пропускная способность ВЛ после выполнения работ, предусмотренных проектом реконструкции ВЛ на переменном напряжении, составит 208 МВА.

Перевод ВЛ на постоянный ток позволит осуществить передачу 480 МВА при рабочем напряжении линии ±300 кВ в биполярном режиме. При этом биполярные передачи постоянного тока позволяют передавать электроэнергию в режиме отключенного полюса,

используя провод для возврата тока, что увеличивает надежность электроснабжения.

## IV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЛ ±300 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

Для перевода ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра в режим постоянного тока необходимо выполнение ряда условий:

Требования к линейной изоляции ВЛ постоянного тока отличаются от требований к изоляции ВЛ переменного напряжения. Это связано с необходимостью использования для изготовления изоляторов более чистого стекла, чем допускается для ВЛ переменного напряжения, а также ускоренной коррозией металлических деталей гирлянд изоляторов на постоянном токе.

В качестве альтернативы тарельчатым стеклянным изоляторам предлагается использовать на ВЛ постоянного тока длинностержневые фарфоровые изоляторы (ДФИ). Опыт применения ДФИ на ВЛ ±400 кВ в Австралии показал их высокие эксплуатационные качества и безотказную работу.

Существующая поддерживающая гирлянда изоляторов на ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра выполнена из 13 изоляторов ПС-6 (ПС-4,5). Длина изоляционной части поддерживающей гирлянды составляет 1700 мм. С учетом длины линейной арматуры длина поддерживающей гирлянды изоляторов составляет 2300 мм.

При переводе на постоянный ток при рабочем напряжении ±300 кВ длина изоляционной части поддерживающей гирлянды, выполненной из ДФИ, составит 4160 мм. С учетом линейной арматуры для крепления к опоре и подвески провода длина поддерживающей гирлянды изоляторов для ВЛ ±300 кВ Саратовская ГЭС – Кубра составит 4800 мм.

Увеличение длины поддерживающей гирлянды изоляторов приведет к снижению габарита до земли.

При рабочем напряжении ВЛ постоянного тока равно  $\pm 150$  кВ длина поддерживающей гирлянды изоляторов составит не более 2300 м. Но в этом случае передаваемая мощность составит 240 МВА.

Экспериментально установлено, что до 700÷800 кВ разрядные напряжения промежутка стержень–плоскость (провод–стойка опоры) при постоянном напряжении и при синусоидальном напряжении очень близки. Поэтому при проектировании линий постоянного тока напряжением до ±400 кВ в качестве расчетных можно использовать кривые средних значений разрядного напряжения для несимметричных воздушных промежутков, полученных при переменном напряжении. При выборе воздушных промежутков на опоре ВЛ постоянного тока с использованием требований соответствующих ВЛ переменного тока считаем, что наибольшее эффективное значение напряжения полюс-земля ВЛ постоянного тока  $U_{DC} = 315$  кВ соответствует наибольшему эффективному линейному значению ВЛ переменного тока  $U_{AC} = 386$  кВ ( $U_{AC} = \frac{U_{DC} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ ). Наибольшее эффективное значение напряжения полюс-земля ВЛ постоянного тока  $U_{DC} = 158$

кВ соответствует наибольшему эффективному линейному значению ВЛ переменного тока  $U_{AC} = 194$  кВ.

Допускаемые значения воздушных промежутков для ВЛ постоянного тока при рабочем напряжении равно  $\pm 150$  кВ и  $\pm 300$  кВ приведены в таблице 1.

Таблица 1. ДОПУСКАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА ОПОРЕ ПРИ РАБОЧЕМ НАПРЯЖЕНИИ РАВНОМ  $\pm 150$  кВ И  $\pm 300$  кВ

Расчетное условие	Климатические условия	Наименьшее изоляционное расстояние при рабочем напряжении $\pm 150$ кВ, см	Наименьшее изоляционное расстояние при рабочем напряжении $\pm 300$ кВ, см
Грозовые перенапряжения Таблица	Ветровое давление 50 Па. Температура $+15^{\circ}\text{C}$ . Гололед отсутствует	161	280
Внутренние перенапряжения		141	243
Обеспечение безопасности подъема на опору без выключения ВЛ	Температура $-15^{\circ}\text{C}$ . Ветер и гололед отсутствуют	231	450*
Рабочее напряжение	Максимальный ветер при $-5^{\circ}\text{C}$ . Гололед отсутствует	47	92

\*) Габарит приведен по требованиям Межотраслевых правил по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (с изменениями и дополнениями) ПОТ РМ - 016-2001. РД 153-34.0-03.150-00.

3. Габарит до земли определяется по условиям безопасности. Для ВЛ ПТ габарит до земли выбирается по тем же принципам, что и воздушные промежутки на опоре, основываясь на требованиях ПУЭ. Результаты определения требуемого габарита в ненаселенной местности для ВЛ постоянного тока при рабочем напряжении равно  $\pm 150$  кВ и  $\pm 300$  кВ приведены в таблице 2.

Таблица 2. МИНИМАЛЬНЫЙ ГАБАРИТ ДО ЗЕМЛИ В НЕНАСЕЛЕННОЙ МЕСТНОСТИ ПРИ РАБОЧЕМ НАПРЯЖЕНИИ  $\pm 150$  кВ И  $\pm 300$  кВ

	Рабочее напряжение $\pm 150$ кВ	Рабочее напряжение $\pm 300$ кВ
Габарит до земли, м	7	8

#### V. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Для анализа возможности перевода ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра необходимо выполнить расчеты элементов ВЛ. С этой целью задаются исходные данные – климатические условия. Линия была спроектирована по ПУЭ-65. При переводе ее на постоянный ток ВЛ должна удовлетворять требованиям действующей редакции ПУЭ. Ниже представлены климатические условия в районе прохождения ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра по старым и действующим нормам.

– Район по ветру (ПУЭ-65) – 3 (50 кг/м<sup>2</sup>, 29 м/с);

- Район по гололеду (ПУЭ-65) – 4 (20 мм);
- Район по ветру (ПУЭ-7) – 3 (650 Па, 32 м/с);
- Район по гололеду (ПУЭ-7) – 4 (25 мм);
- Минимальная температура – минус  $38^{\circ}\text{C}$ ;
- Максимальная температура – плюс  $40^{\circ}\text{C}$ ;
- Среднеэксплуатационная температура – плюс  $5,2^{\circ}\text{C}$ .

#### VI. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ РАССТАНОВКИ ОПОР НА ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

При переводе ВЛ на постоянный ток необходимо выдержать габарит «провод-опора» в пределах значений, указанных в таблице 1. При этом определяющим режимом является режим подъема на опору. Как видно из рис. 1 опора ПМТ удовлетворяет условию безопасного подъема.

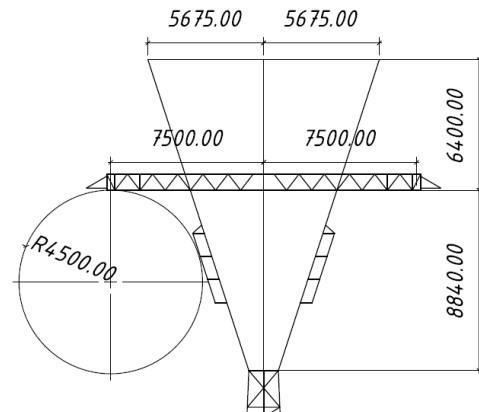


Рис. 1. Анализ габаритных размеров опоры ПМТ

Для проверки выбранного габарита «провод – земля» следует обратиться к зарубежным нормам. Известны временные рекомендации IREQ для «Хайдро Квебек» (Канада). Согласно этим нормам для людей, находящихся вблизи ВЛ постоянного тока в течение полного рабочего дня должны выполняться два условия:

$$E_0 \leq 30 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}; \quad (1)$$

$$j_m \leq 100 \frac{\text{нА}}{\text{м}^2}. \quad (2)$$

Условие (1) ограничивает напряженность электрического поля у поверхности земли. Условие (2) ограничивает плотность ионных токов у поверхности земли.

$$E_0 = 24.5m \left( 1 + \frac{0.613}{r_0^{0.4}} \right), \quad (3)$$

где  $r_0$  – радиус провода, м;

$m$  – коэффициент негладкости провода.

$$U_0 = \frac{E_0 r_0 n}{k_n} \ln \left( \frac{2H_{min}}{r_s} \frac{1}{\sqrt{1 + (H_{min}/b)^2}} \right), \quad (4)$$

где  $r_0$  – радиус провода, м;  
 $n$  – количество проводов в полюсе;  
 $k_n = 1 + (n - 1)r_0/r_b$ ;  
 $r_b = \frac{d}{2 \sin \pi/n}$ ;  
 $r_a = r_b \sqrt[n]{nr_0/r_b}$ ;  
 $H_{min}$  – габарит над землей, м;  
 $2b$  – расстояние между полюсами, м.

$$j_m = \bar{A} \frac{U^2 \theta(\frac{U}{U_0})}{H_{min}^3}, \quad (5)$$

где  $\theta(\frac{U}{U_0})$  определяется по графику [3].

Согласно требованиям по ограничению напряженности и плотности ионных токов была проанализирована возможность перевода ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на постоянный ток.

Результаты расчетов напряженности и плотности ионных токов у поверхности земли при использовании различных проводов и монтажа их с различными стрелами провеса представлены в таблице 3.

Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСКАЕМОГО РАБОЧЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕВОДА ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА НА ПОСТОЯННЫЙ ТОК

п/п	Конструкция полюса	Габарит до земли	U, кВ	E0, кВ/см	j <sub>m</sub> , нА/мм <sup>2</sup>
1	АСО 500	8	300	30,5	42730
2	АСО 500	8	150	30,5	855
3	АСО 500	15	150	30,5	89
4	АСО 500	15	300	30,5	4615
5	2хАС 240/39	8	300	32,032	304
6	2хАС 500/64	8	300	30,5	135

В случаях 1 и 2 использование существующего провода АСО 500 при рабочем напряжении равном ±150 кВ и ±300 кВ соответственно невозможно, так как при габарите, равном 8м, плотность ионных токов превышает допустимую величину 100 нА/мм<sup>2</sup>. В случае 4 отражена такая же ситуация, но с габаритом равным 15 м, что несколько улучшает ситуацию, но недостаточно для применения рассматриваемой конструкции провода.

В случае 3 возможно использование существующего провода АСО 500 при выдерживании минимального габарита 15 м. При этом пропускная способность ВЛ ±150 кВ Саратовская ГЭС – Кубра составит 120 МВА. В связи с тем, что в результате реконструкции передаваемая мощность снизится, данный случай далее не рассматривается.

Случаи 5 и 6 демонстрируют варианты замены провода. При использовании расщепленного на два провода АС 240/39 полюса плотность ионных токов

значительно превышает допускаемое значение. В случае же использования конструкции полюса 2хАС 500/64 удается значительно снизить плотность ионных токов.

При применении провода АС 500/64 габаритный пролет, определенный для случая «б» по ПУЭ-7, составляет 287 м для 4 района по гололеду. Согласно ведомости расстановки опор, количество пролетов длиной до 287 м составляет менее 5%.

#### Вывод:

Гололедные и ветровые нагрузки на провода по требованиям ПУЭ (седьмое издание) увеличились по сравнению с требованиями предыдущих изданий. При проведении реконструкции необходимо обеспечить соответствие всех элементов ВЛ действующим нормам.

Анализ существующих пролетов показал, что эксплуатация линии при переменном напряжении затруднена в связи с недостаточными габаритами в режиме максимальной температуры и максимального гололеда. Перетяжка провода в данном случае приведет к недопустимому увеличению нагрузок на опоры, которые были рассчитаны на нагрузки от проводов по ПУЭ старого издания.

При переводе ВЛ на постоянный ток также необходимо увеличить существующий габарит до земли в режиме максимальной температуры и максимального гололеда. Для этого рассмотрены следующие решения:

- уменьшение длины гирлянды изоляторов, в том числе использование V-образной подвески. Согласно ведомости расстановки опор ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра длина максимального пролета, ограниченного опорами ПМТ, составляет 460 м. При таких длинах пролетов уменьшение длины поддерживающей гирлянды изоляторов не приведет к соблюдению нормируемых габаритов;

- подвеска высокопрочных проводов, позволяющих увеличить допускаемое тяжение в проводе и, как следствие, уменьшить стрелу провеса. Такое решение приведет к тому, что нагрузки превысят допустимые значения на промежуточные опоры в аварийных режимах и на анкерно-угловые опоры в нормальных режимах работы;

- подстановка новых промежуточных опор в каждом пролете. Это решение позволит выдержать требуемый габарит до земли, а также сохранить нагрузки на опоры в допустимых пределах. Такое же решение было предложено при рассмотрении варианта увеличения пропускной способности на переменном напряжении.

- организация плавки гололеда на проводах постоянным током. Основной проблемой, возникающей при рассмотрении возможности использования ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра для передачи постоянного тока является образование гололеда. Снижение нормативной толщины стенки гололеда позволит натянуть провод, обеспечив требуемый габарит и напряжение в проводе в пределах допустимых значений. При этом нагрузки в аварийном режиме не превысят допустимые значения по условиям прочности опор. Снижение толщины стенки гололеда возможно за счет использования плавки гололеда на проводах. При этом система плавки гололеда должна обеспечивать высокий уровень надежности. В

настоящее время повторяемость возникновения гололеда принимается независимо от наличия плавки гололеда на проводах – 1 раз в 25 лет. Смягчение этого требования для линий, на которых организована плавка гололеда, обеспечит экономию затрат на строительство новых линий, а также упростит реконструкцию существующих, а в ряде случаев сделает эту реконструкцию возможной.

#### VII. УСЛОВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕВОДА ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

Для того, чтобы использовать для передачи постоянного тока существующие опоры ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра необходимо предусмотреть следующие мероприятия:

- обследование конструкций опор, фундаментов и оснований, а также мероприятия, обеспечивающие восстановление конструкций до проектной прочности. По результатам обследования дополнительно определяется допустимое тяжение в проводах. Возможно, потребуется проведение работ по усилению конструкций опор и/или фундаментов;

- замену существующей изоляции на изоляцию, специально предназначенную для передач постоянного тока;

- замену существующего провода;

- демонтаж грозозащитного троса и подвеску ОПН.

Демонтаж грозозащитного троса должен обеспечить расчетные нагрузки на опоры и фундаменты ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра после реконструкции в проектных пределах. Обязательное требование – защита с помощью ОПН полюса положительной полярности;

- организацию плавки гололеда на проводах ВЛ с целью обеспечения нагрузок на опоры и фундаменты в пределах допустимых значений. При переводе ВЛ на постоянный ток схема плавки гололеда постоянным током не представляет трудностей, связанных с размещением оборудования для плавки на подстанциях;

- подстановку промежуточных опор в каждом пролете.

#### VIII. СХЕМА ПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ВЛ переменного тока имеет смысл преобразовывать в биполярные линии постоянного тока с металлическим возвратом. Это удобно обеспечивается наличием трех фаз на линиях переменного напряжения.

Принципиальная схема биполярной электропередачи постоянного тока с металлическим возвратом приведена на рис. 2.

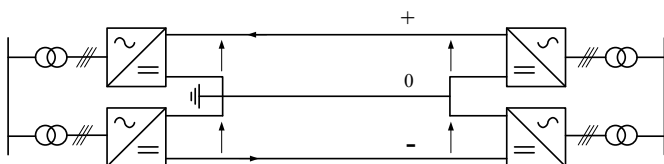


Рис. 2. Схема биполярной электропередачи постоянного тока с металлическим возвратом

Без реконструкции ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра переменного тока и перевода ее на более высокий класс напряжения (500 кВ) невозможно увеличение пропускной способности ВЛ до 480 МВт. Перевод ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на постоянный ток и строительство на ее базе передачи постоянного тока позволит повысить пропускную способность линии.

Согласно всем мероприятиям, перечисленным в п.7, предлагается схема опоры ВЛ постоянного тока, изображенная на рис. 3.

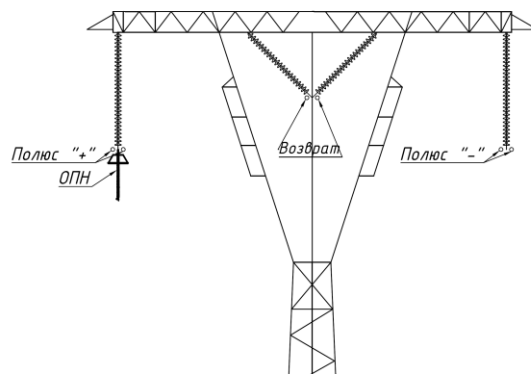


Рис. 3. Реконструкция опоры ПИТ для передачи постоянным током

#### IX. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

Для перевода ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на постоянное напряжение требуется провести ряд работ по замене элементов ВЛ, а также по строительству преобразовательных пунктов.

Стоимости материалов и работ, указанные в настоящей статье, приняты по объектам-аналогам. Для варианта сооружения передачи постоянного тока в качестве объекта аналога рассматривалась реконструируемая ППТ ±300 кВ Волгоград - Донбасс.

Таблица IV. КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ППТ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

Преобразовательные ПС, млрд. руб.	Перевод ВЛ 220 кВ на постоянный ток, млрд.руб.	Суммарные затраты, млрд.руб.
1,7*2	0,8	4,2

Преобразовательные подстанции включают в себя следующие функциональные конструкции:

- вентильный зал;
- преобразовательные трансформаторы;
- фильтры на стороне переменного тока;
- фильтры на стороне постоянного тока;
- линейный реактор на стороне постоянного тока;
- система охлаждения вентилями;
- диспетчерское помещение;
- помещение релейной защиты и системы управления передачей.

По материалам ведущих фирм, занимающихся строительством преобразовательных подстанций, для ОРУ постоянного тока требуется площадка порядка 220x120 метров. Площадка для размещения ОРУ постоянного тока изображена схематично на рис. 4.

При этом применение трехобмоточных трансформаторов и подключение фильтров на стороне постоянного тока в третичную обмотку трансформаторов (на более низкое напряжение) позволит уменьшить ширину занимаемой ОРУ территории приблизительно в два раза. Таким образом, для размещения оборудования на стороне постоянного тока потребуется площадка размером 220x60 метров.



Рис.4 Габариты ОРУ постоянного тока

Затраты на реконструкцию ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра приведены в таблице 5.

Таблица V. КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ВЛ 220 кВ САРАТОВСКАЯ ГЭС – КУБРА

Название работ/материалов	Стоимость работ/материалов в текущих ценах
Демонтаж грозозащитных тросов С-70 (2 шт.)	1,2 млн. руб.
Демонтаж проводов АСО 500 (3 шт.)	5,0 млн. руб.
Монтаж проводов АС 500/64 (6 шт.)	18,1 млн. руб.
Монтаж ОПН	1,1 млн. руб.
Провода АС 500/64 (6 шт.)	540 млн. руб.
Гирлянды изоляторов, состоящие из 28 изоляторов	41 млн. руб.
ОПН	76 млн. руб.
Подстанка новых промежуточных железобетонных опор	120 млн. руб.
<b>Итого: 802,4 млн. руб.</b>	

## Х. ВЫВОДЫ

Эксплуатация существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра на переменном напряжении ограничена следующими факторами: недостаточные габариты «провод-земля», несоответствие действующим нормам (ПУЭ). Перевод ВЛ на постоянный ток сам по себе не позволит решить все эти проблемы на ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра, но позволит при выполнении работ по реконструкции и рабочем напряжении  $\pm 300$  кВ увеличить пропускную способность существующей ВЛ.

При этом потребуется проведение работ, предусмотренных проектом реконструкции рассматриваемой ВЛ на переменном напряжении, таких как подстановка новых промежуточных опор в каждом пролете, замена существующей изоляции, замена провода.

При рассмотрении стоимости реконструкции существующей ВЛ 220 кВ Саратовская ГЭС – Кубра с переводом ее на постоянный ток при рабочем напряжении  $\pm 300$  кВ затраты на 1 км линии составят 7,87 млн руб., стоимость преобразовательной техники составит 3,4 млрд руб.

Перевод ВЛ на постоянный ток позволяет увеличить пропускную способность (в данном случае в два раза) и повысить надёжность работы (при потере одного полюса второй остается в работе). Данное решение позволяет также регулировать переток мощности по ВЛ в широком диапазоне. При реализации данного проекта необходимо учитывать соответствие состояния опор, фундаментов и габаритов требованиям ПУЭ (действующая редакция).

## Список литературы

- [1] M. Raju, N. P. Subramaniam. Power Transfer enhancement of existing EHVAC AC Transmission Line with HVDC conversion – Indian Scenario. Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 10, № 2, 2015.
- [2] M.O. Beshir, L.O. Barthold, D.A. Woodford. Prospective AC to DC Conversion of two parallel 287 kV Transmission Lines in the Western US, B2-107, 44 CIGRE Session, 2012.
- [3] Кутузова Н.Б., Тиходеев Н.Н. Характеристики униполярных ионных токов короны от полюсов до земли у биполярных воздушных линий СВН и УВН постоянного тока // Известия НИИПТ. - 2000. - №57. - С. 37-63.

## References

- [1] M. Raju, N. P. Subramaniam. Power Transfer enhancement of existing EHVAC AC Transmission Line with HVDC conversion – Indian Scenario. Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 10, № 2, 2015.
- [2] M.O. Beshir, L.O. Barthold, D.A. Woodford. Prospective AC to DC Conversion of two parallel 287 kV Transmission Lines in the Western US. B2-107. 44 CIGRE Session, 2012.
- [3] Kutuzova, N.B., Tikhodeev, N.N. *Charakteristiki unipolyarnih ionnih tokov korony ot poliurov do zemli u bipolyarnih vozdushnyh liniy SVN I UVN postoyannogo toka* [Features of unipolar corona ion currents from the poles to the ground of bipolar overhead lines EHV and UHV DC], Izvestiya NIIPТ, 2000, №57.Pp.37-63.