УДК 621.311.001.63 (035)

**ОБОСНОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПУНКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ С ВОЛЬТДОБАВОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ
В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 0,4-10(6) КВ**

Андрианова Людмила Прокопьевна

д-р техн. наук, профессор

Рябишина Лилия Амировна

канд. техн. наук, доцент

Хуртов Владислав Евгеньевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация. В статье представлены технико-экономические расчеты, обосновывающие возможность установки в протяженных линиях электропередач (ЛЭП) 0,4-10(6) кВ пунктов регулирования напряжения (ПНР) с вольтодобавочными трансформаторами (ВДТ), обеспечивающих снижение потерь напряжения в узлах сети и нормативные показатели качества электроэнергии у потребителей. При реконструкции ЛЭП рассматривается вариант увеличения сечения провода линии, а в качестве альтернативы — установка ВДТ. Для нового строительства рассматривается вариант строительства двухцепной воздушной линии 35 кВ с подстанцией 35/10 кВ, а в качестве альтернативы — строительство одной или двух ЛЭП 6-10 кВ с установкой ПНР из трех ВДТ для обеспечения нормального уровня напряжения в часы максимума нагрузок. Определены капитальные затраты на реализацию всех вариантов реконструкции и нового строительства. На основе сравнительного анализа капитальных затрат всех вариантов показана целесообразность установки ВДТ и ПНР, как мероприятие с наименьшими финансовыми затратами.

Ключевые слова: Линия электропередачи, распределение напряжения, качество электроэнергии, жалобы потребителей, предписания надзорных органов, вольтодобавочные трансформаторы, пункты регулирования напряжения, наименьшие капитальные затраты.

**JUSTIFICATION FOR THE INSTALLATION OF VOLTAGE CONTROL
POINTS WITH VOLTAGE-ADD-ON TRANSFORMERS
IN POWER LINES OF 0,4-10 (6) KV**

Andrianova Lyudmila Prokopyevna

Ryabishina Lilia Amirovna

Hurtov Vladislav Evgenievich

Abstract. The article presents technical and economic calculations that justify the possibility of installing in extended power lines (power lines) of 0.4-10(6) kV voltage control points (PNR) with voltage-add-on transformers (VDT), which reduce voltage losses in the network nodes and standard indicators of the quality of electricity for consumers. When reconstructing power lines, the option of increasing the cross-section of the line wire is considered, and as an alternative, the installation of VDT. For the new construction, the option of building a 35 kV double-chain overhead line with a 35/10 kV substation is considered, and as an alternative, the construction of one or two 6-10 kV power lines with the installation of a PRN of three VDT to ensure a normal voltage level during peak load hours. The capital costs for the implementation of all options for reconstruction and new construction are determined. Based on a comparative analysis of the capital costs of all options, the feasibility of installing VDT and PRN with the lowest financial costs is shown.

Key words: Power transmission line, voltage distribution, quality of electricity, consumer complaints, regulations of supervisory authorities, voltage-add-on transformers, voltage regulation points, lowest capital costs.

Установка вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) [1, с. 3] с автоматическим регулированием напряжения в распределительных сетях 6-20 - 0,4 кВ позволяет оперативно реагировать на жалобы потребителей на низкое качество электроэнергии, не соответствующее требованиям ГОСТ 32144-2013[6], в частности по таким показателям, как «Отклонение напряжения» и «Несимметрия напряжения», определяемых по результатам контроля и мониторинга по ГОСТ 33073-2014 [7].

Для обеспечения требуемого качества напряжения в протяженных распределительных сетях 6-20 - 0,4 кВ сетях рекомендуется проводить

корректирующие мероприятия с установкой ВДТ или пунктов регулирования напряжения (ПРН) [5, с. 218].

Для подтверждения целесообразности установки ВДТ или ПРН в соответствии с требованиями нормативных документов необходимо рассмотреть альтернативные варианты корректирующих мероприятий, провести технико-экономическое сравнение, на основе которого следует выбрать вариант с наименьшими капитальными затратами [2].

Необходимость установки ВДТ обосновывается, если имеются жалобы потребителей на качество электрической энергии и предписания надзорных органов об устранении этих нарушений [2].

В статье приводятся типовые примеры технико-экономического обоснования установки ВДТ в ЛЭП 10/0,4 кВ (при реконструкции) и ПРН в электрических сетях 10 кВ с центром питания от подстанции ПС-35/10 кВ (при новом строительстве) [1, 3].

Технико-экономическое сравнение вариантов реконструкции ЛЭП приведено на примере расчетной схемы (рис. 1) с параметрами, указанными в таблице 1. Для проведения реконструкции ЛЭП предложены два варианта.

1-й вариант: Реконструкция воздушной линии (ВЛ) с заменой провода АС-50 на провод марки АС-95 для уменьшения потерь напряжения.

Таблица 1

Исходные данные для расчета [2]

Однолинейная схема ЛЭП	10 кВ
Длина линии по магистрали	29,5 км
Напряжение в начале узла	10,5 кВ
Коэффициент мощности	0,92
Максимальный ток в начале линии с учетом присоединения дополнительной нагрузки	65 А

Рис. 1. Расчетная схема ЛЭП [2]

Таблица 2

Затраты на реконструкцию ВЛ с заменой провода на марку АС-95
(1-й вариант реконструкции ЛЭП)

№ п/п	Виды работ и оборудования	Расценка	Общая стоимость, тыс. руб.	Общая стоимость с учетом регионального коэффициента тыс. руб.
1	Строительно-монтажные работы без опор и провода	Расценка Л1-02-1: 767 тыс. руб. /км	22 626	$22\,626 \times 0,73 = 16\,517$
2	Стоимость опор	Расценка Л3-02-1: 699 тыс. руб./ км	20 620	$20\,620 \times 0,73 = 15\,053$
3	Стоимость провода трех фаз длиной 29,5км	Расценка Л5-02: 431 тыс. руб./км	12 714	$12\,714 \times 0,73 = 9\,281$
4	Стоимость проектных работ	Расценка ПЗ-04: 2 319 тыс. руб.	2 319	$2\,319 \times 0,73 = 1693$
5	Суммарная стоимость реконструкции 29,5 км ВЛ (без НДС)		58 279	42 544

Затраты на реконструкцию ВЛ с заменой провода АС 50 на марку АС-95 оценены в соответствии с Приказом Министерства энергетики РФ «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики» [4] и приведены в таблице 2.

Как следует из таблицы 2, суммарная стоимость реконструкции ВЛ протяженностью 29,5 км типового проекта составляет 58 279 тыс. руб. , а с учетом регионального коэффициента составляет 42 544 тыс. руб.

$K_{\text{рег.}} = 0,73$ для региона Башкортостан определен по таблице [4, таблица 2]

2-й вариант: Установка пункта регулирования напряжения (ПРН) из двух ВДТ 10 кВ с номинальным током 100 А, с диапазоном регулирования $\pm 10\%$.

Предлагаемое место установки – в районе опоры 22.

Затраты на установку ПРН с двумя вольтодобавочными трансформаторами приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Затраты на ПРН-10У1 с двумя вольтодобавочными трансформаторами
(2-й вариант реконструкции ЛЭП)**

№ п/п	Виды работ и оборудования	Общая стоимость, тыс. руб.
1	Пункт регулирования напряжения ПРН-10У1 из двух вольтодобавочных трансформаторов 10 кВ номинальным током 100 А (без НДС)	4 000
2	Проектно-изыскательские работы (ПИР) и строительно-монтажные работы (СМР)	2 000
3	Суммарная стоимость (без НДС)	6 000

Капитальные вложения а установку ПРН-10У1 составляют 6 000 тыс. руб., т. е. значительно меньше по сравнению с 1-м вариантом реконструкции при замене на провод большего сечения.

Распределение напряжения на ВЛ 10 кВ в существующей ЛЭП, и по вариантам реконструкции показано на рис. 2.

Рис. 2. Распределение напряжения на ВЛ 10 кВ в существующей ЛЭП и по вариантам реконструкции ЛЭП [2]

Вывод по вариантам реконструкции ЛЭП. Установка ПРН-10У1 с двумя ВТД экономически целесообразна по сравнению с 1-м вариантом реконструкции ЛЭП путем замены провода АС 50 на марку АС-95.

В примере нового строительства ЛЭП для технико-экономического сравнения рассматриваются два варианта обеспечения электроснабжения потребителя.

В первом варианте рассматривается строительство двухцепной ВЛ 35 кВ проводом АС-95 и ПС 35/10 кВ, мощностью 2×4 МВА и установка на существующей ПС 110/35/10 кВ двух ячеек с трехфазными выключателями 35 кВ для подключения новых линий 35 кВ, как показано на **рис. 3**.

При строительстве двухцепной ВЛ 35 кВ и ПС 35/10 кВ были приняты следующие исходные данные:

- существующая подстанция с двумя трансформаторами Т1 и Т2 (ПС 110/35/10 кВ 2×16 МВА) имеет резерв не менее 4 МВ·А;
- требуется подключение потребителя с максимальной мощностью 3,5 МВт, коэффициент мощности 0,95 от двух линий;
- расстояние от подстанции ПС 110 кВ до потребителя – 15 км.

Рис. 3. Строительство двухцепной ВЛ 35 кВ проводом АС-95 и ПС 35/10 кВ (1-й вариант) [1, 5]

Затраты на строительство двухцепной воздушной линии ВЛ 35 кВ и подстанции ПС 35/10 кВ рассчитаны в соответствии со Приказом Министерства энергетики РФ «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики» [4] и приведены в таблице 4.

Суммарные затраты по 1-му варианту нового строительства двухцепной ВЛ 35 кВ и ПС 35/10 кВ составили 163 907 тыс. руб.

Во втором варианте нового строительства рассматривается строительство двух ВЛ 10 кВ с установкой ПРН 300 А 10 кВ из трех ВДТ с диапазоном регулирования $\pm 15\%$ (рис. 4).

Рис. 4. Строительство двух ВЛ 10 кВ с установкой ПРН 300 А 10 кВ из трех ВДТ (2-й вариант) [1, 5]

Таблица 4

**Затраты на строительство двухцепной ВЛ 35 кВ проводом АС-95
и ПС 35/10 кВ (1-й вариант нового строительства)**

№ п/п	Виды работ и оборудования	Расценка	Общая стоимость
1	Стоимость строительства двух дополнительных ячеек 35 кВ на существующей ПС 110/35/10 кВ	Расценка В2-05-1: 9040 тыс. руб./яч.	18 080 тыс. руб.
2	Строительство 15 км двухцепной ВЛ 35 кВ:		
3	а) Строительно-монтажные работы без опор и провода	Расценка Л1-03-2: 2 997 тыс. руб./км	44 955 тыс. руб.
4	б) Стоимость опор	Расценка Л3-03-3: 2 270 тыс. руб. / км	34 050 тыс. руб.
5	в) Стоимость провода шести фаз длиной 15 км	Расценка Л5-02 431 тыс. руб./км	12 930 тыс. руб.
6	г) Стоимость проектно-изыскательских работ для ВЛ 35 кВ	Расценка П3-08: 6 270 тыс. руб.	6 270 тыс. руб.
7	Строительство подстанции 35/10 кВ:		
8	а) Строительство трех ячеек 35 кВ	Расценка В2-05-1: 9040 тыс. руб./яч.	27 120 тыс. руб.
9	Стоимость двух трансформаторов 4МВА 35/10 кВ	Расценка Т4-03-1: 12 906 тыс. руб.	25 812 тыс. руб.
10	в) Стоимость постоянной части ПС 35 кВ	Расценка 31-01: 31 011 тыс. руб.	
11	г) Проектно-изыскательские работы ПС 35 кВ	Расценка П1-01: 7 235 тыс. руб.	7 235 тыс. руб.
12	Общие затраты по 1-му варианту		163 907 тыс. руб.

При проведении технико-экономическом сравнения по второму варианту нового строительства затраты на сооружение распределительного пункта РП 10 кВ не учитывались (таблица 5).

Таблица 5

**Затраты на строительство двух ВЛ 10 кВ с установкой
ПРН 300 А 10 кВ из трех ВДТ (2-й вариант)**

№ п/п	Виды работ и оборудования	Расценка	Общая стоимость
1	Дополнительные ячейки 10 кВ на существующей ПС 110/35/10 кВ	Расценка В2-01-1: 2 486 тыс. руб./яч.	4 972 тыс. руб.
2	Строительство 15 км двух одноцепных ВЛ 10 кВ:		
3	а) Строительно-монтажные работы без опор и провода	Расценка Л1-02-1: 767 тыс. руб. / км	23 010 тыс. руб.
4	б) Стоимость опор	Расценка Л3-02-1: 699 тыс. руб. / км	20 970 тыс. руб.
5	в) Стоимость провода	Расценка Л5-02: 431 тыс. руб./км.	12 930 тыс. руб.
6	г) Стоимость проектно-изыскательских работ для ВЛ 10 кВ	Расценка ПЗ-08: 2 319 тыс. руб.	2 319 тыс. руб.
7	Стоимость двух ПРН 10 кВ номинальным током 300 А из трех ВДТ:		
8	а) Стоимость одной единицы оборудования	8 000 тыс. руб.	16 000 тыс. руб.
9	б) Стоимость проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ на установку ПРН	4 000 тыс. руб.	4 000 тыс. руб.
10	Общие затраты по 2-му варианту		84 201 тыс. руб.

Вывод по новому строительству: Строительство ЛЭП 10 кВ с установкой ПРН на каждой линии ВЛ 10 кВ экономически более целесообразно, т.к. капитальные затраты меньше на 79706 тыс. руб., чем при строительстве двухцепной ВЛ 35 кВ и ПС 35/10 кВ.

Список литературы

1. Вольтодобавочные трансформаторы. Общие технические требования : СТО 34.01-3.2-013-2017. Стандарт организации ПАО «Россети», введ. 02.08.2017. – 43 с. // www.rosseti.ru. – Режим доступа 12.03.2021.
2. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6-20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи

распределительных сетей. Том 1.1. Методические указания : СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020. Стандарт организации ПАО «Россети», введ. 04.03.2020. – 44 с. //www.rosseti.ru. – Режим доступа 12.03.2021.

3. Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6-20 КВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 КВ в линиях электропередачи распределительных сетей. Том 1.2. Типовые решения : СТО 34.01-3.2.17-014.2-2020. Стандарт организации ПАО «Россети», введ. 04.03.2020. – 44 с. //www.rosseti.ru. – Режим доступа 12.03.2021.

4. Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства. Министерство энергетики Российской Федерации. Приказ от 17 января 2019 года N 10. – 66с. // <http://docs.cntd.ru/document/552209237> . - Режим доступа 11.03.2021.

5. Распределительные электрические сети напряжением 0,4-110 кВ. Требования к технологическому проектированию: СТО 34.01-21.1-001-2017. Стандарт организации ПАО «Россети», введ. 02.08.2017. – 238 с. // www.rosseti.ru. – Режим доступа 12.03.2021.

6. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. – Введ. 01.07. 2014. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

7. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 33073-2014. Межгосударственный стандарт. – Введ. 01.01. 2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 45 с.

© Андрианова Л.П., Рябишина Л.А., В.Е. Хуртов, 2021