

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК 0,4 кВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В работе представлены результаты расчетов режимов воздушной линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 0,4 кВ, а также анализ технической возможности и экономической целесообразности использования конденсаторных установок (КУ) для обеспечения качества электрической энергии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, конденсаторная установка, потери электроэнергии, реактивная мощность.

Надежное снабжение потребителей качественной электроэнергией является основным показателем эффективности работы электросетевых предприятий. Основные проблемы обеспечения качества электроэнергии связаны с появлением недопустимых отклонений напряжения в точках отпуска электроэнергии. Указанные отклонения вызваны ростом технологических присоединений к электрическим сетям и увеличением мощности электроприемников уже подключенных потребителей. Такая ситуация характерна для большинства сельских и пригородных электрических сетей 0,4 кВ. Следует отметить, что ГОСТ 32144 –2013 регламентирует допустимые длительные отклонения напряжения в точке передачи электроэнергии в пределах $\pm 10\%$ от номинального, фазное значение которого принимается равным 220 В. Таким образом, допустимое напряжение в точке передачи электроэнергии должно находиться в пределах 198-242 В.

Для обеспечения указанных пределов электросетевые организации осуществляют ряд мероприятий, связанных с реконструкцией электрических сетей, в том числе, включение в ЛЭП 0,4 кВ вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) – бустеров. Так, в АО «Сетевая компания» РТ работает несколько десятков бустеров Финской фирмы «Ensto» и отечественных серии ТВМГ [1].

Повысить качество электроэнергии и снизить ее потери в ЛЭП 0,4 кВ могут также КУ [2]. В то же время, включение в узлы сети конденсаторных батарей с целью повышения качества электроэнергии не всегда приводит к снижению ее потерь, что характерно для сетей, питающих значительную часть коммунально-бытовых потребителей, имеющих относительно низкое потребление реактивной мощности.

В данной работе приведены результаты расчетов режимов тестовой ЛЭП 0,4 кВ, схема которой представлена на рис. 1.

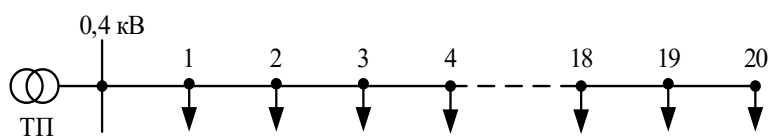


Рисунок 1. Принципиальная схема радиальной ВЛ 0,4 кВ с 20 узлами нагрузки

Математическая модель ЛЭП реализована известным методом прямых и обратных итераций [3]. При этом нагрузки узлов (опор) ЛЭП считались симметричными и равномерно распределенными вдоль линии.

Статические характеристики нагрузки в математической модели представлены выражениями [4]:

$$P(U) = P_{ном} * (-0,2 + 1,2 * \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)), \quad (1)$$

$$Q(U) = Q_{ном} * (3,6 \pm 8,9 * \left(\frac{U}{U_{ном}}\right) + 5,3 * \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^2). \quad (2)$$

Характер распределения напряжения по узлам (опорам) ЛЭП существенно зависит от места включения КУ, что иллюстрирует рис. 2.

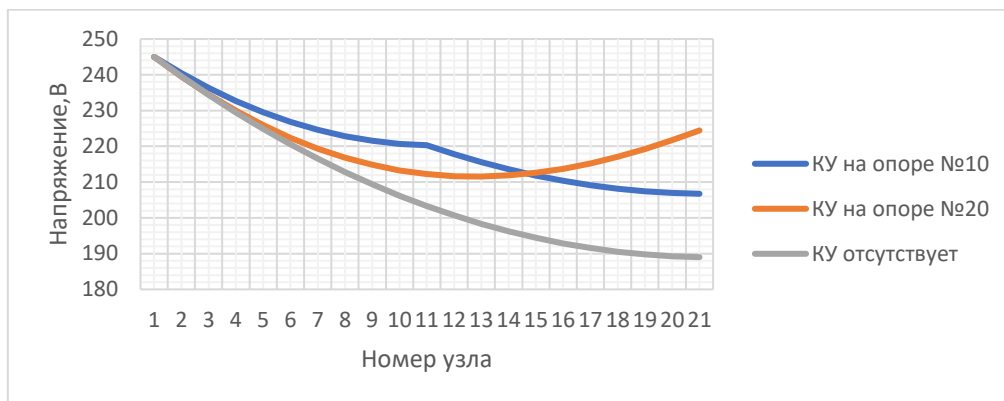


Рисунок 2. Напряжения в узлах ЛЭП при разных расположениях КУ мощностью 90 кВАр

Из рис. 2 видно, что в рассматриваемом режиме, начиная с узла №14, напряжения не соответствуют нормативным (меньше 198 В). Следует отметить, что потери мощности при включении КУ в конце ЛЭП потери мощности составляют 29%, а при включении КУ на опоре №10 – 19%. При отключенной КУ потери мощности составили 14%. Дальнейшие расчеты проводились в предположении установки КУ на опоре №10. Значительные потери мощности обусловлены дополнительным перетоком реактивной мощности из ЛЭП в сеть 10 кВ (рис.3).



Рисунок 3. Направления перетоков реактивной мощности

В режиме минимальных нагрузок КУ может вызвать недопустимые напряжения в узлах ЛЭП, что представлено на рис. 4.



Рисунок 4. Напряжения в узлах при нагрузке, равной 30% от максимальной

Необходимо отметить, что производимые в РФ КУ 0.4 кВ предусматривают возможность автоматического изменения количества конденсаторов в батарее, что позволит избежать недопустимого увеличения напряжения в ЛЭП [5].

Включение КУ наряду с увеличением потерь мощности увеличивает напряжение у потребителей и, в соответствии с (1-2), увеличивает полезный отпуск электроэнергии и величину передаваемой по ЛЭП электроэнергии. При этом увеличение дохода от передачи электроэнергии может существенно превысить расходы на покупку потерь [6].

Для оценки экономической эффективности для рассматриваемой схемы была произведена серия расчетов режимов работы ЛЭП по суточному графику нагрузки, приведенному на рис. 5. Максимальная зимняя активная нагрузка узлов принималась равной 2,1 кВт, тангенс угла нагрузки – равным 0,2. Летняя нагрузка составляла 80% от зимней. Продолжительность зимнего периода составляла 200 дней, летняя – 165 дней. Тариф на передачу энергии принимался равным 4,35 руб./кВт*ч, на покупку потерь – 3 руб./кВт*ч [6].

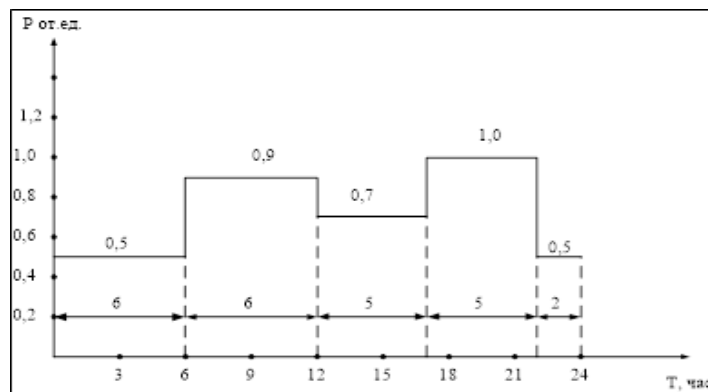


Рисунок 5. Суточный график нагрузки потребителей ЛЭП.

Мощность КУ на опоре №10 варьировалась от 30 кВАр до 180 кВАр. Результаты расчета экономической эффективности передачи представлены на рис. 6.

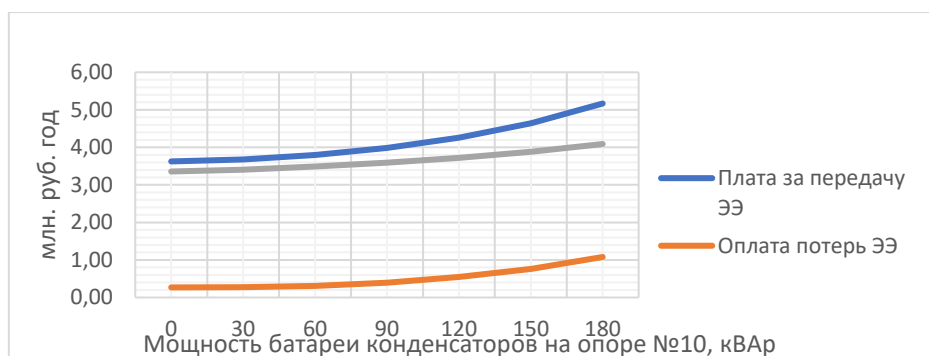


Рисунок 6. Экономические показатели ЛЭП

Как видно из рис. 6, несмотря на увеличения потерь электроэнергии, использование КУ увеличивает годовую прибыль электросетевой организации.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Кроме обеспечения качества электроэнергии КУ могут обеспечивать положительный экономический эффект.
2. Благодаря кратной разности в стоимости и весе КУ могут быть достойной альтернативой ВДТ.

Литература

1. Вольтодобавочные трансформаторы ТВГМ. [Электронный ресурс]. <https://ske-electro.ru/production/tvmg/> (дата обращения 18.03.2026).
2. Карчин В.В., Сидорова В.Т., Федотов А.И. Компенсация реактивной мощности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ для улучшения качества электроэнергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. №5- 6. С. 101-106.
3. Свеженцова О.В., Умнова М.О. Расчет установившихся режимов радиальной электрической сети на напряжении 0,4 кВ интервальным методом // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. 2015. № 3 (98). С. 215-222.
4. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие. –Ростов-на/Д.: Феникс, 2006.–720 с.
5. Низковольтные конденсаторные установки УКРМ 0,4 кВ <https://tmtrade.ru/postavki/kondensatornye-ustanovki/kondensatornye-ustanovki-ukrm-0-4-kv> [Электронный ресурс] (дата обращения 20.03.2026).
6. Банных П.Ю., Бартоломей П.И., Бураков Г.Е. (и др). Расчет технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях с учетом статических характеристик нагрузки / Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. №3. С. 34-45.