

В.Е.Бондаренко, В.В.Черкашина, И.В.Барбашов, (НТУ «ХПИ»), **Н.М.Черемисин** (НТУ сельского хоз-ва им. П.Василенко, Харьков). **Е.М.Линник** (ГПИНИИ «Укрэнергосетьпроект», Харьков)

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В УКРАИНЕ

Для оценки эффективности передачи электрической энергии и технико-экономического анализа в статье предлагается современный подход принятия приоритетных решений на стадии проектирования воздушных линий в условиях рыночных отношений.

Для оцінки ефективності передачі електричної енергії та техніко-економічного аналізу запропоновано сучасний підхід щодо прийняття пріоритетних рішень на стадії проектування повітряних ліній електропередачі в умовах ринкових відношень.

Введение. Учитывая нестабильную экономическую ситуацию в Украине (рост цен на отдельные виды топлива и электроэнергетическое оборудование, материалы и строительные-монтажные работы, дефицит финансовых средств для закупки оборудования), до 2020 года намечается минимальный объем ввода новых электросетевых объектов. При этом необходимо обязательное обеспечение:

- нормативных условий выдачи мощности электростанций;
- надежного энергоснабжения потребителей;
- планируемых поставок экспорта электроэнергии;
- дальнейшего развития способов противоаварийного управления, связи, телемеханики, учета электроэнергии для реализации устойчивой и надежной работы ОЭС Украины с энергообъединениями России, стран Восточной Европы.

Успешное решение задач, которые стоят перед энергетикой Украины, возможны только при наличии государственной стратегии, опирающейся на современную методологию проектирования и эксплуатации, новые научные направления и технические решения, направленные на повышение надежности, стабильности, экономической эффективности передачи электрической энергии.

Постановка проблемы. Несмотря на большой накопленный опыт и научный поиск, проделанный учеными в этой области исследований, принятие решений в процессе проектирования элементов электроэнергетических систем и линий электропередачи осуществляется при дефиците четких всесторонне научно обоснованных рекомендаций и методик. Это ограничивает возможность оценки технико-экономических показателей принимаемых решений на стадии проектирования воздушных линий (ВЛ) и приводит к недостаточной эффективности проектных решений [3,8].

Анализ последних исследований и публикаций. Как показывает практика, сложившиеся рыночные отношения между субъектами проектных решений требуют нового научного направления и, прежде всего, в стратегии развития линий электропередачи и электроэнергетической системы в целом.

К основным направлениям в совершенствовании структуры ВЛ прежде всего следует отнести увеличение пропускной способности линий электропередачи (ЭП), снижение ущерба от воздействия на экологию окружающей среды и инженерные коммуникации [3].

Воздействие ВЛ электропередачи на окружающую среду связано с негативным влиянием на живые организмы и инженерные коммуникации, а также с отчуждением земельных участков, сокращением сельскохозяйственных, лесных и охотничьих угодий. ВЛ нарушают целостность полей и кормовых угодий, способствуют росту сорняков, создают помехи для обработки полей с воздуха, применения агротехники, орошения. Особенно большой ущерб наносится лесным угодьям, поскольку просеки под трассами линий полностью выводятся из хозяйственного оборота, увеличивается лесоповал (вдоль трасс линий). Периодические (1 раз в 5 лет) расчистки трасс линий механическим путем и с помощью гербицидов выводят из процесса воспроизводства кислорода в атмосферу Земли тысячи гектаров лесных угодий.

Кроме указанных экологических воздействий, ВЛ являются также источником возникновения радиопомех и помех в высокочастотных каналах связи ВЛ. На их уровень влияют конструктивные параметры линий, погодные условия и состояние поверхности проводов [4].

Известно, что конструктивные решения ВЛ существенно влияют на технические характеристики передачи электрической энергии. Так наряду с ВЛ традиционного конструктивного исполнения существуют: компактные воздушные линии (КВЛ); управляемые самокомпенсирующие воздушные линии (УСВЛ); воздушные линии с цепями различных классов напряжения (комбинированные ВЛ); воздушные линии с изолированными проводами (ВЛИ).

Цель статьи. Для оценки эффективности передачи электрической энергии и технико-экономического анализа в статье предлагается современный подход принятия приоритетных решений на стадии проектирования воздушных линий в условиях рыночных отношений.

Основные материалы исследования. Воздушные линии традиционного конструктивного исполнения. По конструктивному исполнению ВЛ традиционного конструктивного исполнения (традиционные ВЛ) могут быть одно- и двухцепными. Габариты традиционных ВЛ устанавливаются нормами по условиям безопасного передвижения людей и транспорта под линиями и зависят от номинального напряжения ВЛ, характеристики местности (населенная, ненаселенная, труднодоступная) и типа пересекаемого сооружения (табл. 1) [3]. В табл.1 показаны минимальные расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли.

Табл. 1

Характеристика местности, м	Напряжение ВЛ, кВ			
	110	150	220	330
Населенная	7	7,5	8	8
Ненаселенная	6	6,5	7	7,5
Труднодоступная	5	5,5	6	6,5
Недоступные склоны гор, скалы, утесы	3	3,5	4	4,5

Пролеты ВЛ выбирают по экономическим соображениям, так как с увеличением длины пролета l необходимо увеличивать высоту опор H , чтобы не нарушить допустимый габарит линии h ; при этом уменьшается количество опор и изоляторов на линии. В табл. 2 приведены конструктивные размеры ВЛ разных напряжений при определенных габаритах [4].

Табл. 2

Номинальное напряжение, кВ	Расстояние между проводами, м	Длина пролета l м	Высота опоры H , м	Габарит линии h , м
110	4	170–250	13–14	6–7
220	7	250–350	25–30	7–8
330	9	300–400	25–30	7,5–8
750	15	450–750	30–41	10–12

ВЛ выполняют неизолированными проводами. Конструкция фазы ВЛ определяется, в основном, маркой и сечением проводов, их количеством в фазе, расположением и расстояниями между ними. ВЛ с расщепленными фазами, где в

одной фазе используют два и более провода, применяется на напряжение 330–750 кВ.

На одноцепных опорах провода располагают в вершинах треугольника или в горизонтальной плоскости (рис. 1, $a-e$), на двухцепных – в виде прямой или обратной “елки” либо в виде “бочки” (рис. 1, $z-e$). Прямая “елка” применяется редко из-за неудобства монтажа, обратная “елка” удобно монтируется, но требует двух защитных тросов; поэтому наиболее широкое применение на ВЛ получило расположение проводов в виде “бочки” (рис. 1).

Конструктивное исполнение ВЛ существенно зависит от климатических условий: температуры, ветра, гололеда, а также от наличия в окружающей среде сернистых газов, отложений солей и т.п. [4].

Для ВЛ переменного тока традиционного конструктивного исполнения стоимостные показатели определяются согласно методике, которая отражает зависимость стоимости ВЛ от конструкции фазы [7]. Согласно этой методике, стоимость ВЛ переменного тока можно оценить следующим выражением:

$$K_{ВЛ}^{мрэд} = K'_{ВЛ} + \gamma_F \cdot F + \gamma_{nr} \cdot nr, \quad (1)$$

где $K'_{ВЛ}$ – составляющая стоимости ВЛ, не зависящая от конструкции фазы; γ_F – коэффициент при составляющей стоимости ВЛ, зависящей от сечения фазы F (мм^2); γ_{nr} – коэффициент при составляющей стоимости ВЛ, зависящей от произведения nr ; n, r – число и радиус составляющих фазы (шт, см).

Численные значения коэффициентов для определения стоимости традиционных ВЛ зависят от конструктивного исполнения, типа опор, класса напряжения.

Компактные воздушные линии. Принцип создания компактных воздушных линий основан на оптимизации конструкции фаз ВЛ с целью обеспечения наиболее эффективного использования поверхности проводов при изменении числа составляющих в фазе. При этом натуральная мощность ВЛ переменного тока пропорциональна числу составляющих в фазе и коэффициенту использования, определяется выражением [1]

$$P_n = 0,05 \cdot n \cdot r_0 E_{\text{доп}} \cdot k_{\text{исп}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{доп}}$ – допустимая напряженность на поверхности проводов; $k_{\text{исп}}$ – коэффициент использования поверхности проводов.

Уменьшение расстояния между фазами (сближение фаз) приводит к значительному уменьшению необходимых размеров фаз, поэтому для сокращения габаритов ВЛ наиболее целесообразно при увеличении числа составляющих уменьшить расстояние между фазами.

При оценке стоимости КВЛ, имеющих сближенные фазы, численные значения этих коэффициентов снижаются в среднем на 10 % при расщеплении фаз по сравнению с ВЛ традиционной конструкции.

Применение КВЛ дает возможность передавать одну и ту же расчетную мощность по ВЛ разных классов напряжения, что изменяет границы областей рационального применения таких линий ЭП и позволяет временно осуществлять работу линии с уменьшенным числом проводов в фазах, что можно совместить с работой линии при меньшем номинальном напряжении, а по мере увеличения мощности передачи подвешивать дополнительные провода и соответственно увеличивать пропускную способность линии [1].

В случае применения КВЛ взамен традиционных ВЛ сокращается число параллельных цепей, что обеспечивает значительный экономический эффект. Например, при замене двухцепной традиционной ВЛ одной КВЛ напряжением 110–500 кВ стоимость ЭП снижается на 30–35 %. Также при прочих равных условиях повышается их пропускная способность на 25–35 %.

Управляемые самокомпенсирующие воздушные линии (УСВЛ). УСВЛ представляет собой передачу электрической энергии, состоящую из нескольких однофазных ЭП, сближенных между собой на минимально допустимые расстояния. Разработки таких линий направлены на увеличение пропускной способности ЭП, улучшения управления режимами ЭЭС, повышения надежности и технико-экономической эффективности, сокращения полосы отчуждения. УСВЛ включает в свой состав фазорегулирующие устройства (ФР), обеспечивающие регулирования угла сдвига трехфазных систем напряжения цепей друг относительно друга, и компенсирующие устройства (КУ), необходимые для дополнительного регулирования нормальными и аварийными режимами.

Благодаря таким техническим решениям, созданы условия для возникновения усиленного электромагнитного влияния цепей ЭП друг на друга, обеспечивающего изменение на 20–40 % значений их первичных параметров, что при соответствующем знаке этого влияния увеличивает пропускную способность линии. С помощью ФР или схем переключения осуществляется регулирование угла сдвига между системами напряжений цепей, а следовательно эквивалентных параметров, что совместно с КУ обеспечивает управление диапазоном характеристик ЭП и параметрами режима ЭЭС.

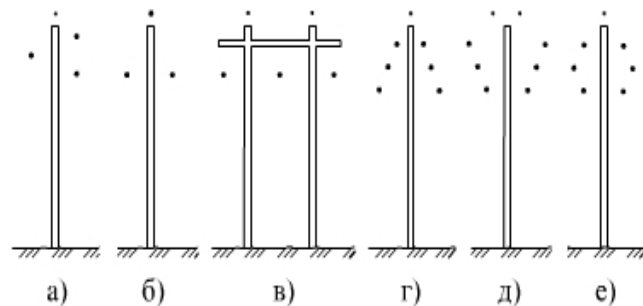


Рис. 1

Расстояние между сближенными фазами цепей управляемых самокомпенсирующих воздушных линий, выбранное с учетом максимально возможного напряжения между ними (например, для двухцепной УСВЛ – двойного фазного рабочего), а также с учетом коммутационных и грозовых перенапряжений, может быть равно величине

$$d_c = (0,2 - 0,4)D, \quad (3)$$

где D – расстояние между фазами традиционных ВЛ.

При этом требуется, чтобы конструктивные элементы опоры были вынесены за пределы пространства между сближенными фазами. В ряде случаев в пролете между сближенными фазами предусматривается установка изоляционных распорок.

Сравнивая традиционные ВЛ с управляемыми самокомпенсирующими ВЛ, необходимо отметить, что при регулировании фазового сдвига между системами векторов напряжений цепей в УСВЛ происходит перенос мощности между ее цепями, в результате чего цепи загружаются неодинаковыми активными и реактивными мощностями. Это объясняется наличием емкостной и индуктивной связей между цепями линии, благодаря которым взаимные токи и наведенные ЭДС от одной цепи изменяют величину фазы тока и напряжения соседней цепи, что равносильно передаче и приему соответствующей мощности [9].

Основные отличительные особенности расчетов технико-экономических показателей между традиционными ВЛ и УСВЛ следующие.

При определении затрат исходят из того, что зарядная мощность УСВЛ равна сумме зарядных мощностей двух отдельно работающих цепей (ее составляющих) в случае, когда угол смещения систем напряжений между цепями $\theta=180^\circ$, т.е. в режиме максимальной пропускной способности. В случае же когда $\theta=0^\circ$, а этого можно добиться с помощью ФР в режимах малых нагрузок и холостого хода, при которых необходимо подключение шунтирующего реактора (ШР), зарядная мощность УСВЛ значительно меньше и в среднем может быть определена по выражению [9]

$$Q_{УСВЛ}^{зар0^\circ} = 0,55Q_{УСВЛ}^{зар180^\circ} = 0,55(2Q_{ВЛ}^{зар}), \quad (4)$$

где $Q_{УСВЛ}^{зар0^\circ}$ – зарядная мощность УСВЛ при $\theta=0^\circ$; $Q_{УСВЛ}^{зар180^\circ}$ – зарядная мощность УСВЛ при $\theta=180^\circ$; $Q_{ВЛ}^{зар}$ – зарядная мощность традиционной ВЛ.

При определении затрат на компенсацию потерь электроэнергии в УСВЛ учитывается возможность снижения потерь на корону на счет регулирования параметров ЭП с помощью ФР. Суммарные потери электроэнергии в УСВЛ можно определить по выражению

$$\Delta \mathcal{E}_\Sigma = (\Delta \mathcal{E}_{кор}^{180^\circ} + \Delta \mathcal{E}_{нагр}) \left(\frac{100 - K_{рег}}{100} \right), \quad (5)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{кор}^{180^\circ}$ – потери электроэнергии на корону в УСВЛ при $\theta=180^\circ$ (максимальные); $\Delta \mathcal{E}_{нагр}$ – нагрузочные потери электроэнергии в УСВЛ; $K_{рег}$ – коэффициент снижения суммарных потерь электроэнергии в УСВЛ за счет регулирования угла сдвига между системами векторов напряжений цепей при изменении величины передаваемой мощности и уменьшении составляющей потерь на корону по сравнению с традиционной ВЛ ($K_{рег}=6-10\%$) [5].

Таким образом, экономия потерь электроэнергии достигается за счет регулирования фазового сдвига между цепями УСВЛ и снижения тем самым потерь на корону.

Стоимость УСВЛ принимается равной 70–80 % от стоимости двухцепной традиционной ВЛ. Так, для УСВЛ стоимость определяется как

$$K_{УСВЛ} = 2 \cdot K_{ВЛ}^{trad} \cdot (0,7 - 0,8), \quad (6)$$

где $K_{ВЛ}^{trad}$ – стоимость традиционной ВЛ переменного тока.

Экономия капиталовложений также очевидна за счет уменьшения числа цепей и применения большого количества двухцепных ЭП, причем снижение капиталовложений линейной части дополняется экономией на ШР, количество которых для УСВЛ значительно меньше за счет регулирования зарядной мощности. Увеличение капиталовложений в УСВЛ по сравнению с традиционными ВЛ за счет установки ФР существенно не сказывается на общей эффективности.

Ширина полосы отчуждения для УСВЛ принимается равной сумме удвоенной ширины одноцепной опоры и удвоенной ее высоты [5].

Также следует отметить, что УСВЛ создают меньшие уровни напряженности электрического и магнитного полей в окружающем пространстве, что позволяет уменьшить полосу отчуждения по сравнению с полосой отчуждения традиционных ВЛ в расчете на единицу передаваемой мощности [5]. Следовательно, электропередачи на базе УСВЛ весьма эффективны в сравнении с традиционными ВЛ и могут рассматриваться как одно из перспективных направлений для передачи электроэнергии, в особенности для осуществления межсистемных связей.

Комбинированные (многоцепные) воздушные линии представляют собой конструкцию ВЛ с цепями разных классов напряжения.

Максимальная пропускная способность комбинированной ВЛ достигается при определенной величине взаимной индуктивности между цепями. Выбор такой величины – оптимизационная задача, критерием которой является повышение пропускной способности [6].

Воздушные линии с изолированными проводами. Логическим продолжением развития ВЛ являются воздушные линии с изолированными проводами (ВЛИ).

При использовании изолированных проводов расстояния между фазами могут быть приняты в 3–4 раза меньшими, чем в ВЛ традиционного конструктивного исполнения с неизолированными проводами, что позволяет повысить их пропускную способность и улучшить характеристики режимов. Кроме того, применение изолированных проводов снижает опасность гололедообразования, а также уменьшает аварийность от кратковременных соприкосновений проводов при пляске и качаниях под воздействием ветровых нагрузок.

В Финляндии, например, была сооружена ВЛ напряжением 110 кВ с изолированными проводами [11]. На рис. 2 показана конструкция изолированного провода SAX 110 кВ, который применяется для ВЛ напряжением 110 кВ. Здесь 1 – фазная алюминиевая токопроводящая жила; 2 – неизолированная несущая жила; 3 – первый слой изоляции; 4 – второй слой изоляции. Вес одного километра такого провода составляет 1650 кг.

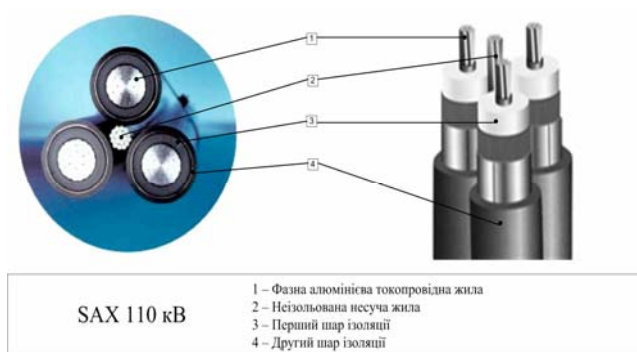


Рис. 2

Такая система имеет три алюминиевых фазных жилы с двумя слоями изоляции и неизолированную несущую жилу, диаметр токопроводящей жилы – 22,5 мм; внешний диаметр провода – 37,5 мм; вес одного километра такого провода составляет 1650 кг.

Обычно ширина коридора ВЛ – 110 кВ традиционного конструктивного исполнения составляет 26 м, а у ВЛИ ширина коридора уменьшена более, чем на 50 %, и составляет 12 метров. Это сокращает габариты ВЛ и, таким образом, уменьшает стоимость отвода земельного участка под объект.

Новая технология SAX 110 кВ решает многие вопросы модернизации существующих ВЛ, например, переход на следующий класс напряжения, что приводит к увеличению габаритов линии и ширины коридора ВЛ. Поэтому нет необходимости конструировать новую ВЛ, когда нужно увеличить напряжение. Все это имеет позитивные последствия не только в экономическом и техническом аспекте, но и относительно воздействия ВЛ на окружающую среду [11].

Принимая во внимание отечественный и зарубежный положительный опыт в области создания ВЛИ напряжением 0,4–110 кВ и их существенные преимущества по сравнению с ВЛ традиционных конструкций, а также разработки многоцепных УСВЛ, целесообразно рассмотреть создание ВЛИ на более высокие классы напряжения и в Украине.

Минимальное допустимое расстояние между фазами, выполненными из неизолированных одиночных или расщепленных проводов, определяется диэлектрическими свойствами воздушного промежутка «фаза–фаза», исходя из учета воздействия разности рабочих напряжений между этими фазами, а также внутренних и грозовых перенапряжений, требует установки между фазами в пролетах специальных изолирующих элементов (изоляционных распорок и др.).

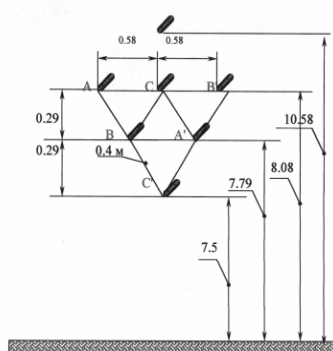
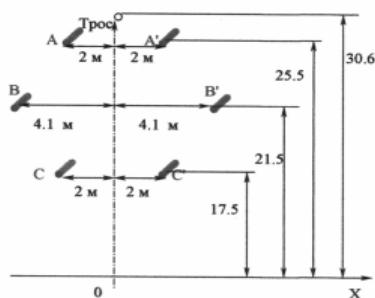


Рис. 3, 4

Применение же изолированных проводов позволяет выполнить линии со сближенными фазами без изоляционных распорок и, к тому же, уменьшить расстояние между фазами, что обеспечит увеличение пропускной способности линии и дальнейшее улучшение ее характеристик.

Как пример можно рассмотреть выполненные технические и экспериментальные разработки по ВЛИ–110 кВ в Молдавской энергосистеме. В основу выбора конструкции ВЛИ–110 кВ положены принципы, описанные выше. Расстояние между проводами различных цепей ВЛИ–110 кВ приняты от 0,4 до 0,7 м.

Анализ и сопоставление параметров и характеристик выполнен между ВЛИ–110 кВ и традиционной ВЛ–110 кВ с конфигурацией расположения фаз по типу «бочка» (рис. 3). Конфигурация расположения фаз и геометрические расстояния для двухцепной ВЛИ–110 кВ показаны на рис. 4.

Для расчетов основных параметров ВЛИ–110 кВ со сближенными фазами используют выражения, выведенные на основе уравнений УСВЛ [2].

Так эквивалентное продольное сопротивление сближенных фаз разных цепей двухцепной ВЛИ в системе фаз этих цепей при симметричных значениях токов каждой цепи в отдельности определяются выражениями

$$\dot{Z}_{\Sigma 1} = (r_1 + j\omega L_1) + j\omega M \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}; \quad \dot{Z}_{\Sigma 2} = (r_2 + j\omega L_2) + j\omega M \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}, \quad (7,8)$$

где r_1, r_2 – активные сопротивления фаз; $j\omega L_1, j\omega L_2$ – собственные значения индуктивных сопротивлений сближенных фаз в системе фаз своих цепей; $j\omega M$ – взаимное индуктивное сопротивление между сближенными фазами в системе всех фаз цепей; \dot{I}_1, \dot{I}_2 – векторы токов, протекающих по сближенным фазам первой и второй цепей.

Соответственно эквивалентные поперечные проводимости определяются выражениями

$$\dot{Y}_{\Sigma 1} = g_1 + j\omega C_1 + \frac{U}{U_1} (-g_6 - j\omega C_6); \quad \dot{Y}_{\Sigma 2} = g_2 + j\omega C_2 + \frac{U}{U_2} (-g_6 - j\omega C_6), \quad (9,10)$$

где g_1, g_2 – собственные значения активной поперечной проводимости фаз; $j\omega C_1, j\omega C_2$ – собственные значения емкостной проводимости фаз; $g_6, j\omega C_6$ – значения взаимных величин активной и емкостной проводимости между сближенными фазами в системе всех фаз цепей.

Для традиционной ВЛ–110 кВ, с расстояниями, указанными на рис. 3, величина натуральной мощности на обе цепи составляет 55,43 МВт, а рабочая удельная емкость фаз – $1,64 \cdot 10^{-8}$ Ф/км.

Расчеты величин натуральной мощности и рабочей удельной емкости фаз для ВЛИ–110кВ (рис. 4) представлены в табл. 3 [10].

Табл. 3

Расчетные параметры	Расстояния между фазами цепей ВЛИ–110 кВ, м			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Натуральная мощность, МВт	88,88	85,79	82,99	80,55
Рабочая емкость фаз, Ф/км	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$

Отношение величины натуральной мощности двухцепной ВЛИ–110 кВ и двухцепной ВЛ–110 кВ традиционного конструктивного исполнения представлены в табл. 4 [10].

Анализ полученных результатов показывает, что величина натуральной мощности в ВЛИ–110 кВ

выше, чем у ВЛ–110 кВ традиционного конструктивного исполнения, а соответственно выше пропускная способность и лучше характеристики линии.

Табл. 4

Расстояния между фазами цепей ВЛИ-110 кВ, м	0,4	0,5	0,6	0,7
Отношение величин натуральной мощности ВЛИ-110 кВ и ВЛ-110 кВ, отн.ед:	1,6	1,54	1,49	1,45

Таким образом, изложенное выше подтверждает целесообразность развития работ по созданию ВЛ, отличных от ВЛ традиционного конструктивного исполнения, а также дальнейшие исследования и разработки комплексного подхода в этом направлении

традиционного конструктивного исполнения, а также дальнейшие исследования и разработки комплексного подхода в этом направлении

Выводы. Совершенствование структуры ВЛ является важной технической и экономической задачей энергетической отрасли Украины. Для выбора и обоснования нового направления по развитию и совершенствованию ВЛ целесообразно разработать и внедрить методику технико-экономической оценки в условиях рыночных отношений.

1. Александров Г.Н. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Под ред. Г.Н. Александрова и Л.Л. Петерсона. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.

2. Астахов Ю.Н., Постолатий В.М. и др. Управляемые электропередачи. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 296 с.

3. Бабушкин В.М., Линник Е.Н, Н.М. Черемисин, В.И. Романченко. Состояние электрических сетей ОЭС Украины и стратегия их эффективности // Электрические сети и системы. – 2003. – №1. – С.22–27.

4. Барбаиов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Учебно-методическое пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 124 с.

5. Веников В.А., Астахов Ю.Н., Постолатий В.И. Управляемые самокомпенсирующиеся линии электропередачи. – Информэлектро, деп., 1985., д1955эн. – 85 с.

6. Гусев А.П. Анализ технических характеристик линий электропередачи повышенной пропускной способности при работе их в сложной энергосистеме электропередачи повышенной пропускной способности. – Кишинев: Штиинца, 1981. – С. 20–28.

7. Ершевич и др. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С.Роко-тяна и И.М.Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.

8. Мощипан В.П., Куринный А.В., Костиков В.И., Козет И.Ю. Реконструкция ВЛ 35–110 кВ в условиях инфраструктуры Украины // Электрические сети и системы. – 2005. – №2. – С. 7–10.

9. Постолатий В.М., Комендант И.Т. Перенос мощности между цепями в управляемых самокомпенсирующихся линиях электропередачи // Электропередачи повышенной пропускной способности – Кишинев: Штиинца, 1981. – С. 3–10.

10. Постолатий В.М., Быкова Е.В., Сулов В.М. Возможности создания и технические характеристики одноцепных и многоцепных воздушных линий электропередачи переменного тока повышенной пропускной способности с изолированными проводами для распределительных электрических сетей. / Материалы VI-го симпозиума «Электротехника 2010», ВЭИ – ТРАВЭК, Москва, 2001 г.

11. **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**

Надійшла 05.06.09