

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОЦЕНКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Черемисин Н. М.¹, Черкашина В. В.², Буславец О. А.³

¹Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,

²Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт",

³Министерство энергетики и угольной промышленности Украины

Показано одно из направлений развития электрических сетей, которое позволяет сформировать новый технологический базис функциональных возможностей для повышения эффективности управления режимами их работы в рамках концепции Smart Grid.

Постановка проблемы. В период сложившейся в стране социально-политической обстановки, когда возможен дефицит топлива для генерирующих источников особенно актуально рациональное использование передающей способности электрических сетей (ЭС), что связано с необходимостью перераспределения транспортных потоков электроэнергетики.

Решение поставленных вопросов может быть достигнуто при наличии достоверной информации о состоянии воздушных линий (ВЛ), поэтому формирование нового технологического базиса функциональных возможностей позволит повысить эффективность управления режимами работы ЭС.

Условия рынка двусторонних договоров и балансирующего рынка электроэнергии (РДДБ), в которых функционируют ЭС Украины, связаны с решением вопросов по созданию более эффективных средств транспорта и распределения электроэнергии, что требует усовершенствования существующих и применения новых технологий и технических решений.

Анализ последних исследований и публикаций. Как показал анализ информационных источников, наиболее перспективной в условиях РДДБ является концепция Smart Grid [1-5].

В основу концепции Smart Grid положена целостная и всесторонне согласованная система взглядов на роль и место электроэнергетики в настоящем и будущем, целей и требований к ее развитию, подходов к их реализации и созданию необходимого технологического базиса.

На современном этапе развития концепция Smart Grid - это комплексное соединение средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределения и передачи электроэнергии. При этом под эффективностью подразумевается: децентрализация функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в ЭС; снижение затрат на генерацию, распределение и передачу электроэнергии; оперативное устранение неисправностей в ЭС; возможность транспортировки электроэнергии и информации одновременно.

В рамках этой концепции центральное место среды энергоэффективных разработок занимают "интеллектуальные" сети.

"Интеллектуальные" сети - это электросетевой комплекс, подключенный к генерирующим источни-

кам и потребителям. При этом используются новые принципы, технологии передачи и управления процессами в ЭС [2-4].

Согласно [2, 3] в ЭС Украины необходимо перейти на новую информационно-оперативную модель управления режимами работы, которая учитывала бы дополнительную информацию поступающую с распределенных объектов ЭС, которыми являются ВЛ.

В рамках такой модели получение информации о состоянии параметров ВЛ даст возможность оценить реальную ситуацию проблем транспорта электроэнергии, а получение информации о метеоданных даст возможность оценить реальную пропускную способность ВЛ [5].

Так как конструкция ВЛ напрямую связана с ее пропускной способностью, то при рассмотрении вопросов "интеллектуализации" сети целесообразно обратить внимание на управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии (УСВЛ), которые, по сравнению с традиционными ВЛ, имеют более высокую пропускную способность и позволяют регулировать параметры режимов в соответствии с изменениями величины передаваемой мощности. Эти преимущества достигаются за счет изменения конструкции ВЛ, реализующей сближение разноименных фаз линии и применения комплекса оборудования – фазорегулирующих, компенсирующих устройств и соответствующих систем управления [6].

В настоящее время ведутся разработки более эффективных систем оценки и контроля ВЛ, которые предусматривают возможность предсказания изменения ситуации на основе мониторинга как параметров и текущего состояния ВЛ, так и параметров окружающей среды, что безусловно повышает "интеллект" ЭС [7].

Цель статьи - комплексное направление развития электрических сетей в рамках концепции Smart Grid для повышения эффективности управления режимами их работы за счет формирования нового технологического базиса функциональных возможностей.

Основные материалы исследования. Новая информационно-оперативная модель управления режимами работы ЭС в рамках концепции Smart Grid - это многоуровневая иерархическая система управления, включающая в свой состав совокупность технических и программных средств, а так же каналов связи, обес-

печивающих комплексное автоматическое и автоматизированное управление всеми технологическими процессами [3].

При переходе на такую информационно-оперативную модель целесообразно использование унифицированных (стандартизованных) элементов ВЛ в вопросах проектирования и эксплуатации ЭС.

Эффективность унификации обеспечивает: сокращение сроков разработки и сооружения ВЛ за счет использования ограниченного числа опор, фундаментов, марок проводов, изоляции и арматуры; уменьшение ошибок персонала при строительстве и эксплуатации ВЛ; увеличение эксплуатационного запаса отдельных элементов ВЛ; снижение стоимости сооружения ВЛ за счет конкуренции между отдельными изготовителями элементов ВЛ [8].

В качестве основы для унификации ВЛ необходима оптимизация параметрического ряда сечений проводов, которая позволит свести к минимуму число реконструкций связанных с необходимостью увеличения пропускной способности и снижением технологических потерь в сети.

Полученные в [8] характеристики шкалы сечений проводов ВЛ научно обосновывают основу методики унификации. При этом из нескольких альтернативных вариантов ВЛ приоритетный такой вариант, который удовлетворит условие экономической целесообразности выбираемого объекта в условиях РДДБ.

Таким образом, оптимизация параметрического ряда сечений проводов, являющаяся основой унификации ВЛ, позволяет при проектировании объекта скорректировать регламент реконструкций и решить в рамках концепции Smart Grid такие технические вопросы, как: переход от резко неоднородных ЭС к слабонеоднородным; снижение технологических потерь; увеличение величины транспортируемой по ВЛ мощности; свести к минимуму число реконструкций.

Однако, обособленно унификация ВЛ не решает вопросов связанных с повышением эффективности управления режимами работы ЭС, потому что ВЛ является "пассивным" элементом.

Так же существующие на сегодня пути внедрения концепции Smart Grid в ЭС Украины применением различных сосредоточенных средств контроля и управления сохраняют ВЛ как нерегулируемый объект.

В итоге оказалось, что ЭС в основном выполнены на базе традиционных ВЛ, пропускной способности которых уже недостаточно для обеспечения требуемых потребностей, применение достаточно мощного арсенала средств регулирования, подключенных в узлах сети, желаемого результата не дает, в связи с чем их использование является не достаточно эффективным [2, 3].

Современный уровень технической политики в электроэнергетике и требования к ЭС способствуют тому, чтобы заново переосмыслить полученные результаты исследований в области УСВЛ [6] и на современной технической базе оценить возможность их применения для эффективного транспорта электроэнергии.

Формированию основных концептуальных положений создания УСВЛ предшествовали работы в об-

ласти исследований разомкнутых линий и полуразомкнутых линий электропередач [9], дальнейших работ в области УСВЛ и фазорегулирующих устройств [6].

При применении УСВЛ для транспорта электрической энергии, как и при применении традиционной ВЛ, существует проблема, которая заключается в поддержании заданных уровней напряжения вдоль ВЛ при изменении величины передаваемой мощности от максимальных значений до холостого хода.

В варианте УСВЛ [6] эта задача решается за счет устройств фазового регулирования (ФР), обеспечивающего заданные параметры режимов при изменении величины передаваемой мощности от максимальной (P_m) до некоторого значения, равного $\approx 0,5 P_m$. При дальнейшем уменьшении передаваемой мощности в пределах $(0,5 \div 0) P_m$ требуется регулируемая компенсация избыточной зарядной мощности УСВЛ с помощью регулируемых устройств или же путем сочетания применения средств ФР и традиционных средств компенсации, включенных по специальной схеме (рис.1).

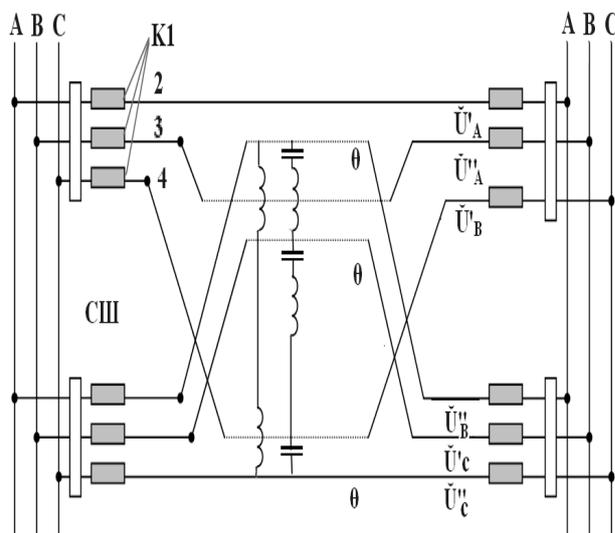


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема УСВЛ с компенсирующими устройствами между фазами

Регулирование параметров УСВЛ (рис.1) имеет новый физический смысл в отличие от известных способов компенсации или регулирования параметров в отдельных узлах ЭС, так как является регулированием эквивалентных параметров самой линии на всем ее протяжении.

Опираясь на результаты исследования [6, 10] следует, что по сравнению с традиционными ВЛ УСВЛ обеспечивают при прочих равных условиях: увеличение значения натуральной мощности на 20-50 %; снижение величины напряженности электрического и магнитного полей в пространстве, окружающем линию и вблизи поверхности земли; экономию дисконтных затрат на 10-30 % в расчете на единицу передаваемой мощности; создают благоприятные возможности для регулирования перетоков мощности и снижения технологических потерь.

Следовательно, благодаря своим техническим решениям, УСВЛ по сравнению с традиционной ВЛ, обладают рядом технико-экономических преимуществ и могут быть применены в ЭС Украины для оптимального транспорта электроэнергии, обеспечивающего повышение пропускной способности электропередач и снижения технологических потерь, что повышает эффективность управления режимами работы ЭС и не противоречит концепции Smart Grid.

Одним из основных показателей, который необходим для «интеллектуализации» сети и развития ВЛ в рамках концепции Smart Grid является контроль параметров и текущего состояния ВЛ в режиме "on-line" с учетом метеоданных.

На сегодняшний день в энергосистемах уже применяются технические разработки, которые позволяют повысить "интеллект" сети [5, 11]. Для этого в режиме "on-line" осуществляется контроль параметров и текущего состояния ВЛ с учетом метеоданных. К таким разработкам относятся датчики контроля температуры проводов и тока нагрузки в режиме "on-line" с учетом метеоданных [11].

Использование данных разработок позволяет контролировать текущее состояние ВЛ и оценивать погодные условия в определенном районе для корректирования режимов работы ЭС [5].

Организация мониторинга параметров текущего состояния ВЛ с учетом метеоданных в рамках концепции Smart Grid позволяет:

- контролировать реальное техническое состояние ВЛ на основании разработанных методик с использованием датчиков температуры проводов;
- выполнять оценку предельных значений длительных и кратковременных токов нагрузки;
- управлять режимами токовой нагрузки ВЛ в соответствии с реальными данными о термической стойкости проводов ВЛ;
- регулировать перетоки мощности по ЭС; контролировать уровень технологических потерь;
- соблюдать габариты ВЛ; корректировать режимы работы ЭС.

Рассматривая ВЛ в контексте концепции Smart Grid следует, что их развитие-это комплексная задача. Формирование нового технологического базиса функциональных возможностей ВЛ целесообразно начинать еще на стадии проектирования с оптимизация параметрического ряда сечений проводов и последующего проектирования ВЛ, как контролируемого и регулируемого объекта с учетом метеоданных.

Решение этой задачи имеет несколько взаимосвязанных аспектов, позволяющих отойти от "типовых" проектов и обеспечивающих "интеллектуализацию" ВЛ.

В соответствии с выше изложенным материалом и нормативно-технической документацией Украины проведены исследования на примере 1 км ВЛ 110 кВ, выполненной проводом АС-240/32, который является оптимальным в шкале сечений проводов для данного класса напряжения [8] и соответствует ПУЭ Украины, при предельно допустимом токе $I_{доп}=605$ А.

Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	-40	-20	-10	0	10	20	40
$R, \text{ Ом/км}$	0,105	0,117	0,123	0,129	0,136	0,142	0,155

Таблица 2

$t_{o.c.}, ^\circ\text{C}$	-40	-20	-10	0	10	20	40
$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	-12,51	12,12	24,68	37,42	50,37	63,54	90,69
$P, \text{ МВт}$	106,2	101,1	98,62	96,18	93,80	91,46	86,91
$\Delta W, \text{ МВт}$	0,039	0,043	0,045	0,047	0,050	0,052	0,057

В таблицах 1 и 2:

$t_{o.c.}, ^\circ\text{C}$ – температура окружающей среды;

$t_{пр}, ^\circ\text{C}$ – температура провода с учетом окружающей среды;

$R, \text{ Ом/км}$ – активное сопротивление ВЛ с учетом температуры провода в зависимости от параметров окружающей среды;

$P, \text{ МВт}$ – величина передаваемой по ВЛ активной мощности с учетом температуры провода в зависимости от параметров окружающей среды;

$\Delta W, \text{ МВт}$ – величина технологических потерь электроэнергии при передаваемой по ВЛ определенной активной мощности с учетом температуры провода в зависимости от параметров окружающей среды.

Как видно из таблиц 1 и 2 при неизменной токовой нагрузке в зависимости от параметров окружающей среды изменяется температура проводов, что отражается на пропускной способности ВЛ. Так при увеличении температуры проводов снижается передаваемая по ВЛ мощность, но увеличиваются технологические потери, что приводит к необходимости их корректировки.

Данные исследования показывают целесообразность разработки новой методологии расчета технологических потерь в режиме "on-line" с учетом температуры провода в зависимости от параметров окружающей среды, что является актуальным в условиях РДДБ и соответствует концепции Smart Grid.

Использование УСВЛ позволит частично решить эту задачу регулированием угла сдвига векторов напряжения, применив ФР.

В каждом конкретном случае результат регулирующего эффекта будет иметь вполне конкретное количественное выражение, в зависимости от типов устройств, схем их включения, компоновки и возлагаемых на них функций [6].

При этом следует обратить внимание на тот фактор, что при прочих равных условиях регулирующий

эффект находится в обратной пропорциональной зависимости от величины Z_C (1), т.е. чем меньше величина Z_C , тем больше эффект по увеличению P_m ВЛ и наоборот.

Ссылаясь на результаты исследований в [6] зависимость регулирующего эффекта для УСВЛ при различных значениях Z_C представлены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование	Значение Z_C , отн.ед.					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Регулирующий эффект, отн.ед.	1,0	1,11	1,25	1,42	1,66	2,0

Указанный эффект (табл. 3) достигается за счет технического решения УСВЛ, что является их отличием от традиционных ВЛ [6].

Благодаря такой конструкции и ФР, УСВЛ обладает возможностью регулирования величины передаваемой мощности для обеспечения режимных параметров и снижения уровня экологического влияния.

Однако, этот аспект является проектной задачей, следующей после оптимизации параметрического ряда сечений проводов ВЛ. При решении которой необходимо учитывать, что ВЛ должна быть оснащена соответствующими средствами оценки, контроля и управления технологическим процессом транспорт электроэнергии в режиме "on-line".

Таким образом, развитие ЭС должно быть основано на комплексном внедрении управляемых самокомпенсирующихся воздушных линий с оптимальным сечением проводов, оценке, контроле и управлении технологическим процессом транспорта электроэнергии в режиме "on-line" с учетом метеоданных, что переводит линию с "пассивного" в "активно-адаптивный" элемент, соответствующий "интеллектуальным" сетям.

Выводы. Показано комплексное направление развития электрических сетей в рамках концепции Smart Grid за счет формирования нового технологического базиса функциональных возможностей для повышения эффективности управления режимами их работы.

В рамках представленного направления целесообразно разработать новую методологию расчета технологических потерь с учетом температуры провода в зависимости от параметров окружающей среды.

Список использованных источников

1. Кириленко О. В. Балансующий рынок электроэнергетики и його математична модель / О. В. Кириленко, І. В. Блінов, Є. В. Парус – Технічна електродинаміка - 2011р - №2 – С.36-43
2. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 44–50
3. Шакарян Ю. Г., Новиков Н. Л. Технологическая платформа SmartGrid (Основные средства) //

Энергоэксперт, 2009, №4, С. 42-49

4. Amin S. M., Wollenberg B. F. Toward a Smart Grid: power delivery for the 21st century // IEEE Power and Energy Magazine, 2005, Vol. 3, No. 5, pp. 34-41.

5. Титов Н. Н., Доценко М. С., Доценко С. И., Черемисин Н. М., Лежнюк П. Д. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуєчого ринку. – 2009. – С.41–48.

6. Управляемые электропередачи. Труды Института энергетики АН Молдовы за 2001-2007 гг. / Составители: Постолатий В. М., Быкова Е. В. – Кишинев, 2007. – Вып. № 8 (23). – 234 с.

7. Лежнюк П. Д., Черемисин М. М., Редько Ю. Ф., Черкашина В. В., Мирошник А. А. Повышение эффективности управления режимами электрических сетей на базе мониторинга параметров воздушных линий и окружающей среды / Энергетика та електрифікація, 2012.–№12.– С.34-41

8. <http://praci.vntu.edu.ua> / Lezhniuk P. D., Chermisin M. M., Cherkashyna V. V. Unification of overhead lines in the conditions of the market of twoparty agreements and balancing electric energy y market / Energetics and electrical enginee-ring, 2013, № 4 – 8 с.

9. Ракушев Н. Ф. Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям. – М.: ГЭИ, 1957. – 160 с

10. Бондаренко В. О, Черемісін М. М., Черкашина В. В. Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин. Монографія / Харків: "Факт", 2013. – С. 259

11. <http://www.selena-sd.ru/> Системы контроля ЛЭП.

Анотація

ПЕРСПЕКТИВНІ ОЦІНКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Черемісін М. М., Черкашина В. В., Буславец О. А.

Показано один із напрямків розвитку електричних мереж, що дозволяє сформувати новий технологічний базис функціональних можливостей для підвищення ефективності управління режимами їх роботи у рамках концепції Smart Grid.

Abstract

PERSPECTIVE ESTIMATIONS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF ELECTRIC NETWORKS

N. Chermisin, V. Cherkashyna, O. Buslavez

One of directions of development of electric networks, that allows to form the new technological base of functional possibilities for the increase of management efficiency by their office hours within the framework of conception of Smart Grid, is shown.