

В.Е. МОМОТ, канд. тех. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
Н.В. ВИШНЕВСКИЙ, Днепропетровская ЭС ГП НЭК «Укрэнерго»

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Проведен анализ существующих в Украине условий развития альтернативной энергетики. Рассмотрены сезонные изменения режимов работы энергосистемы и солнечных электростанций. Выполнен анализ и оценка влияния солнечной фотоэлектрической электростанции на режимы работы энергосистемы.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В 2009 г. Верховной Радой были приняты поправки к законам «Об электроэнергетике» и «Об альтернативных источниках энергии», в которых был четко описан механизм формирования цены за кВт-час по «зеленому» тарифу. Согласно принятому законопроекту коэффициент «зеленого» тарифа на электроэнергию, выработанную из энергии солнечного излучения наземными объектами электроэнергетики, является самым высоким и составляет 4,8 [1]. Внедрение солнечных электростанций позволит увеличить долю электроэнергии вырабатываемой возобновляемыми источниками электроэнергии и увеличить энергетическую независимость Украины. В связи с постоянным ростом цен на энергоносители, а также недостаточным обеспечением собственными энергоресурсами (газ, нефть), на территории Украины необходимо внедрение альтернативных источников электроэнергии. Благодаря «зеленому» тарифу обеспечивается высокая экономическая привлекательность проектов по возведению солнечных электростанций. Активное внедрение электростанций, использующих альтернативные источники электроэнергии, требует анализа влияния на режимы работы энергосистемы.

**Постановка задачи.** Исследование влияния солнечных электростанций на режимы работы энергосистемы и определение необходимого резерва генерации электрической энергии для солнечной электростанции при снижении ее КПД.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время на Украине располагается крупнейшая солнечная электростанция в Европе, и планируется, что рынок солнечной энергии Украины будет расти ежегодно на 90 % до 2015 года [2]. В Украине имеются все предпосылки для успешного развития рынка солнечной энергии: высокий показатель DNI (прямое нормальное излучение), высокий льготный "зеленый" тариф, возможность использовать принципы П (совместного внедрения) в соответствии с Киотским Протоколом в отношении проектов с использованием солнечной энергии и благоприятных положений по освобождению от налогов. К тому же, энергетическая стратегия Украины предполагает достижение 20 % производства энергии из возобновляемых источников до 2020 года, а украинский льготный тариф в отношении альтернативной энергии почти в два раза превосходит тариф некоторых членов G8 [3].

В связи с отсутствием на солнечных электростанциях генераторов в стандартном понимании (отсутствуют вращающиеся элементы электрических машин), а также учитывая подключение кластеров солнечных батарей (через сборные преобразователи-инверторы), синхронизация солнечной электростанции с энергосистемой постоянна [4]. Следовательно, вопрос о нарушении динамической устойчивости в традиционном понимании снимается. Переходные процессы, связанные с возникновением коротких замыканий на линиях выдачи мощности солнечной электростанции, с последующим отключением этих линий действием релейной защиты, не влияют на кластеры солнечной электростанции. В проектах по возведению фотоэлектрических электростанций осуществляется только проверка оборудования по пропускной способности, термической устойчивости, проверка релейной защиты и автоматики существующих подстанций или сетей к которым планируется подключение. В большинстве проектных разработок отсутствует анализ влияния солнечных электростанций на режимы работы энергосистемы.

**Изложение материала и результаты.** Развитие солнечной энергетики имеет ряд преимуществ, по сравнению с традиционной энергетикой, таких как:

- неисчерпаемость (поскольку энергия солнца неограниченна);
- экобезопасность (солнечные электростанции не производят вредных выбросов);

дешевая эксплуатация (по сравнению с атомными, тепловыми и гидроэлектростанциями периодические ремонты требуются значительно реже); автономность (возможно использование отдельно от энергосистемы).

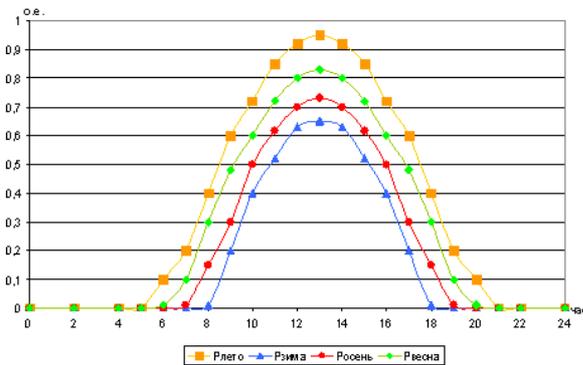


Рис. 1. График работы солнечных электростанций

солнечных электростанций на энергосистему. Для оценки влияния солнечных электростанций на энергосистему авторами проведен комплексный анализ возможных режимов работы энергосистемы с учетом сезонного изменения генерации солнечных электростанций.

В основе расчетов баланса и режимов электропотребления лежат суточные графики нагрузки. Известно, что графики нагрузки отдельных потребителей отличаются по форме вследствие специфики режима потребления электроэнергии, например, многосменные промышленные предприятия, тяговая нагрузка, коммунально-бытовая нагрузка. При суммировании графиков нагрузки отдельных потребителей эти особенности усредняются, формируя обобщенный график нагрузки энергосистемы. В соответствии с ним устанавливаются режимы работы генерирующих станций. Повышение удельного веса жилищно-коммунальной и сельскохозяйственной нагрузок, сокращение ночных смен приводит к разуплотнению графиков. Повышение удельного веса непрерывных производств, улучшение загрузки оборудования приводит к уплотнению графиков. Качество графика нагрузки определяется возможностью энергосистемы обеспечить этот график. Каждая энергосистема имеет свои особенности, обусловленные климатическими факторами, электропотреблением в промышленности, возможностями регулирования энергосистемой суточного графика с целью более равномерного распределения нагрузки в течение суток [5].

В работе энергосистемы, с точки зрения режимов, наиболее сложными являются часы прохождения максимумов нагрузки, поскольку для ее покрытия требуется увеличение объемов генерации, наблюдается максимальная загруженность транзитных линий и трансформаторов. В покрытии нагрузки энергосистемы постоянную величину генерации поддерживают АЭС из-за своей большой инерционности, более маневренными являются ТЭС и ГЭС. Электростанции, использующие альтернативные (возобновляемые) источники электроэнергии, имеют переменчивый характер генерации, что создает значительные трудности при формировании планов суточных объемов генерации.

На основании паспортных данных солнечных батарей проведен анализ сезонной эффективности работы солнечных электростанций на территории Украины в течении суток (без учета перевода времени на летнее и зимнее). Результаты анализа приведены в виде графика на рис. 1.

Для оценки режимов работы энергосистемы были использованы мгновенные значения потребляемой активной мощности в МВт за каждый час в течении суток.

Для каждого сезона рассмотрены данные за третью среду декабря 2011 г., апреля 2012 г., июня 2012 г. и октября 2012 г., поскольку они наиболее полно характеризуют работу энергосистемы. На основании величин потребляемой активной мощности были сформированы обобщенные по сезонам суточные графики (без учета перевода времени на летнее и зимнее), приведены на рис. 2.

Анализ приведенных графиков нагрузки энергосистемы и генерации фотоэлектрических электростанций показал, что:

Кроме положительных качеств солнечные электростанции имеют и недостатки, такие как:

- малая мощность и КПД (значительно ниже чем у традиционных электростанций);
- высокая стоимость (большие объемы капиталовложений);
- зависимость от внешних факторов (снижение эффективности в случае облачности);
- значительные площади (солнечные батареи занимают большую площадь).

Увеличение объемов вырабатываемой солнечными электростанциями энергии требует проведения исследований по оценке влияния



Рис. 2. График потребления энергосистемой активной мощности

летний период характерен наличием четко выраженного дневного максимума потребления энергосистемы, который полностью совпадает с максимумом генерации солнечных электростанций.

Основной проблемой использования солнечных электростанций является снижение производительности в пасмурную погоду. Поскольку КПД фотоэлектрических электростанций в пасмурную погоду может снижаться до 20% «рис. 3», для недопущения возникновения дефицита активной мощности возникает необходимость резервирования генерируемой мощности за счет ТЭС, ГЭС, ГАЭС.

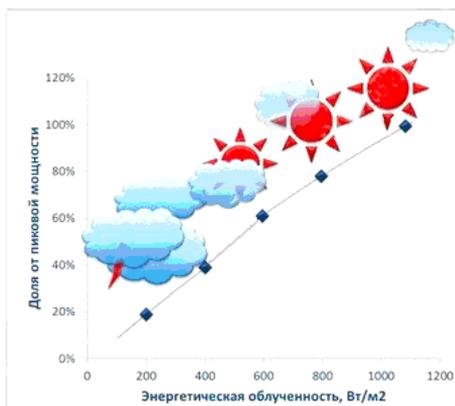


Рис. 3. КПД солнечных батарей, в зависимости от погодных условий

Установленная мощность внедряемых в ОЭС Украины солнечных электростанций составляет от 10 МВт «Радушное Солар» до 80 МВт «Охотниково». Максимальное влияние фотоэлектрических электростанций наблюдается в летний период в максимум генерации электрической энергии.

Для определения необходимых объемов маневренных резервов генерации выполнены расчеты изменений мощности СЭС при снижении КПД.

Рассмотрим мгновенное снижение генерируемой мощности вследствие ухудшения погодных условий на примере одной из самых мощных на территории Украины солнечных электростанций «Охотниково» с установленной мощностью 80 МВт.

Величина необходимого резерва мощности СЭС сос-

тавляет, МВт

$$P_{prra} = P_{уус} \cdot k_{ээ} \cdot 0,2 = 80 \cdot 0,95 \cdot 0,2 = 15,2,$$

$$P_{prrе} = P_{уус} \cdot k_{ээ} - P_{prra} = 80 \cdot 0,95 - 15,2 = 60,8,$$

где  $P_{prra}$ , МВт - расчетное значение максимальной мощности, генерируемой СЭС при максимально пасмурной погоде,  $P_{уус}=80$ , МВт - установленная мощность электростанции,  $k_{кэ}=0,95$ , о.е. - коэффициент эффективности для максимума летнего периода, рис. 1, 0,2 о.е. - КПД солнечной электростанции при максимально пасмурной погоде.

Проведенные расчеты показали, что максимальная величина необходимого резерва генерации для солнечной электростанции «Охотниково» составляет 60,8 МВт. При отсутствии электрически близких источников резервной генерации, резкое снижение генерации в объеме 60,8 МВт приведет к значительной посадке напряжения в районе и возможному отключению части потребителей.

Установка солнечных электростанций наиболее «полезна» в электрически удаленных от источников генерации районах, поскольку позволяет разгрузить транзитные магистрали в дневное время на протяжении года, но оставляет нерешенными вопросы резервирования.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Проведенный анализ показал, что использование фотоэлектрических электростанций максимально эффективно в летний период, поскольку максимум генерации солнечных электростанций совпадает с максимумом потре-

ния энергосистемы. Влияние солнечных электростанций в весенний и осенний периоды приблизительно одинаково. Минимальное влияние наблюдается зимой.

Основным существенным недостатком внедрения фотоэлектрических электростанций является отсутствие возможности участия в покрытии вечерних и ночных максимумов нагрузки, а также вероятность мгновенного снижения генерации до 20 % от номинальной мощности в случае пасмурной погоды и, как следствие, необходимость резервирования за счет ТЭС, ГЭС, гидроаккумулирующих электростанций. Проведенные расчеты, на примере солнечной электростанции «Охотниково», подтвердили необходимость резервирования СЭС. Для рассматриваемой солнечной электростанции «Охотниково» максимальная величина необходимого резерва генерации составила 60,8 МВт.

При проектировании фотоэлектрических электростанций необходимо учитывать возможные мгновенные снижения генерации и предусматривать наличие резервов в объеме не менее 76% от максимальной генерации СЭС.

#### Список литературы

1. «В Украине новый зеленый тариф»// [www.cogeneration.com.ua/ru/about/press-centre/news/1245053500/](http://www.cogeneration.com.ua/ru/about/press-centre/news/1245053500/)
2. «Тянутся к солнцу»// [www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/d234ce15dd98c1e8c22579e60031f89a](http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/d234ce15dd98c1e8c22579e60031f89a)
3. «Солнечная энергетика Украины: краткий обзор рынка»// [www.euea-energyagency.org/](http://www.euea-energyagency.org/)
4. Подключение солнечных батарей // [http://серебряный-шит.рф/publ/raznoe/podkljuchenie\\_solnechnykh\\_batarej/7-1-0-83](http://серебряный-шит.рф/publ/raznoe/podkljuchenie_solnechnykh_batarej/7-1-0-83).
5. Суточные графики нагрузки и режимных параметров // [www.masters.donmtu.edu.ua/](http://www.masters.donmtu.edu.ua/) / 2007 / fema/artemenko/library/suto4nie\_grafiki.htm.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.12

УДК 621.314.632

А.П. СІНОЛИЦІЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук., доц.,  
В.С. КОЗЛОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### ОСОБЛИВОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПОЄДНАНИХ У ГРУПУ

Запропоновано математичний апарат системи ідентифікації енергетичної моделі електроспоживача. Проведено оптимізацію математичних викладок для застосування в цифрових мікропроцесорних системах. Для прикладу наведено процес ідентифікації групи типових промислових споживачів електроенергії.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Першою складовою концепції енергозбереження є глибока та якісна оцінка енергетичного стану мережі живлення та підключених до неї споживачів електроенергії. Функцію такої оцінки на вітчизняних підприємствах частіше за все виконують лічильники активної та реактивної енергії, які не мають змоги надати вичерпну інформацію про енергетичний стан електричної мережі. Додавши до цього можливість використання неточних значень активної та реактивної потужностей через невизначеність розрахункових формул для лічильників [2] та неможливість прогнозування, ефективність такої оцінки в контексті енергозаощадження є сумнівною.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Доволі розгалужений та складний математичний апарат мають сучасні системи контролю та пристрої компенсації неактивних складових потужності [7]. Така невизначеність та складність реалізації призводить до необхідності застосування нетрадиційних алгоритмів контролю, обліку та компенсації неактивних складових потужності [3].

Теоретична база для низки таких систем у вигляді алгоритму зі спрощеними функціоналами розроблена [4] та практично реалізована в [5]. Значно розширити можливості згаданих систем шляхом покращення ефективності існуючих АСКОЕ та пристроїв компенсації неактивних складових потужності мають системи автоматичної ідентифікації типу електричного споживача.

**Постановка завдання.** Головна задача системи ідентифікації - у відповідність до досліджуваного об'єкту визначити еталонний об'єкт з відомою математичною структурою. Система ідентифікації має бути універсальною з точки зору інтеграції до існуючих пристроїв обліку, аналізу та компенсації неактивних складових потужності тощо. З попередньої вимоги витікає необхідність невтручання у технологічний процеси. Математичний апарат зазначеної системи повинен бути максимально простим та адаптованим до використання в цифрових пристроях.