

# ТЕХНОЛОГІЇ TECHNIQUE

УДК 621.316

А.В. ПРАХОВНИК, В.А. ПОПОВ, Е.С. ЯРМОЛЮК, М.Т. КОКОРИНА

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УКРАИНЕ

А. PRAKHOVNIK, V. POPOV, E. IARMOLIUK, M. KOKORINA

## PERSPECTIVES AND TRENDS OF DISTRIBUTED GENERATION DEVELOPMENT IN UKRAINE

**Анотация.** Анализ современных тенденций развития мировой энергетики та фактичного стану даної галузі в Україні дозволяють стверджувати, що активне впровадження розподіленої генерації може розглядатися в якості важливої складової модернізації вітчизняної енергетики. У роботі коротко описані дослідження, виконані на кафедрі електропостачання Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», пов'язані з оцінкою впливу генеруючих джерел різної потужності на режими електричних мереж. Представлені алгоритми вибору оптимальних параметрів засобів розподіленої генерації та місць їх інтеграції в електричні мережі на різних номінальних напругах. Наведено загальну характеристику методики вибору параметрів засобів регулювання напруги в розподільчих мережах із джерелами розподіленої генерації й акумулювання електричної енергії. Розглянуто евристичний алгоритм вибору структури та параметрів мікросистем, із урахуванням невизначеності вихідної інформації та цілей.

**Ключові слова:** розподілена генерація, альтернативні джерела енергії, мікросистеми, багатокритеріальне прийняття рішень, енергетична ефективність та безпека.

**Аннотация.** Анализ современных тенденций развития мировой энергетики и фактического состояния данной отрасли в Украине позволяют утверждать, что активное внедрение распределенной генерации может рассматриваться в качестве важной составляющей модернизации отечественной энергетики. В работе кратко описаны исследования, выполненные на кафедре электроснабжения Института энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», связанные с оценкой влияния генерирующих источников различной мощности на режимы электрических сетей. Представлены алгоритмы выбора оптимальных параметров средств распределенной генерации и мест их интеграции в электрические сети на различных номинальных напряжениях. Приведена общая характеристика методики выбора параметров средств регулирования напряжения в распределительных сетях с источниками распределенной генерации и аккумуляции электрической энергии. Рассмотрен эвристический алгоритм выбора структуры и параметров микросистем, с учетом неопределенности исходной информации и целей.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, альтернативные источники энергии, микросистемы, многокритериальное принятие решений, энергетическая эффективность и безопасность.

**Annotation.** Analysis of the modern trends in the global energetic development and the actual state of this industry in Ukraine allows one to suggest that the active implementation of distributed generation can be considered as an important part of the modernization of the national energy sector. This paper briefly describes the researches carried out at the electric power supply department of the Institute of energy saving and energy management of the National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute» and associated with assessing the effects of different power generation sources on the modes of operation of electrical networks. The algorithms for determining the optimal parameters of distributed generation and points of their integration into the electrical network at different rates of voltages are presented. The general characteristics of the method for selections parameters of voltage control equipments in distribution systems with sources of distributed generation are briefly discussed. A heuristic algorithm for selecting the structure and parameters of microsystems with taking into account the uncertainty of the initial information and goals is considered.

**Key words:** distributed generation, alternative energy sources, microsystems, multicriteria decision making, energy efficiency and safety.

Централизованная система организации и управления объединенной энергосистемой Украины, сложившаяся в середине прошлого века и адекватно отвечавшая существующим в то время планово-директивным принципам функционирования народного хозяйства, безусловно, сыграла свою положительную роль в развитии экономического потенциала страны. Созданная организационно-техническая структура в достаточной мере обеспечивала энергетическую безопасность регионов, возможность межсистемного обмена мощностью и энергией в нормальных и аварийных режимах. При этом постоянно увеличивались взаимосвязи и взаимовлияние отдельных территориально распределенных систем энергетики в направлении формирования единых иерархически организованных энергосистем на уровне регионов, государств, групп государств.

Вместе с тем, очевидно, что в условиях кардинального изменения экономических отношений, формирования энергорынка, появления смешанной частно-государственной формы собственности, энергетический сектор страны нуждается в коренном реформировании. При этом следует отметить, что более 50 % эксплуатируемого в отрасли оборудования требует замены, поскольку физически и морально устарело. Энергетика остро нуждается в развитии новых технологий, внедрении информационных и диагностических систем, средств измерений и управления с целью существенного повышения эффективности производства, передачи и распределения электрической и тепловой энергии, обеспечения надежности и качества энергообеспечения потребителей.

Важным требованием указанных реформ является формирование клиентоориентированной энергетики, где потребители, в определенном смысле, получают возможность непосредственно участвовать в решении вопросов управления режимами работы энергосистемы, выбора путей их развития. Пока потребитель не будет заинтересован в рациональном развитии энергетики, противоречия между поставщиками и потребителями энергии не только сохраняются, скорее всего, будут даже усиливаться. Данное противоречие существует давно. Но раньше государство контролировало и производство, и потребление энергии, обеспечивая баланс интересов. Сегодня ситуация принципиально изменилась. Для развития генерирующих мощностей, транспортной инфраструктуры энергокомпаний привлекают значительные кредиты, что сразу же находит свое отражение в росте тарифов на электрическую и тепловую энергию. Очевидно, что потребители не заинтересованы в капитализации энергокомпаний и не приветствуют подобный сценарий.

У нас же в стране отсутствуют необходимые законодательные, нормативные и тарифные стимулы для вовлечения потребителей в энергетический рынок в качестве активных «игроков», что позволило бы заинтересовать их в сокращении объемов энергопотребления, снижении выбросов, создании генерирующих мощностей, развитии средств управления и информатизации. Вместе с тем, в подобной ситуации потребители превратились бы, возможно, в наиболее заинтересованную сторону в плане развития и внедрения инновационных технологий, средств распределенной генерации, энергосберегающих мероприятий.

Энергосбережение в Украине уже давно задекларировано в качестве принципиальной задачи для отечественной экономики. Вместе с тем, достигнутые в этом плане результаты намного скромнее, чем хотелось бы. В то же время, например, в США данная проблема в значительной степени была решена благодаря, по сути, единственному закону, запрещающему энергетическим компаниям каким-либо образом ограничивать потребителей в подключении к сетям энергосистемы. В сложившейся ситуации многие энергокомпании поняли, что реализация комплекса мероприятий по энергосбережению очень часто обходится значительно дешевле, чем создание новых генерирующих мощностей и развитие электрических сетей необходимых для удовлетворения растущих потребностей. Таким образом, энергокомпании активно занимаются разработкой и внедрением энергосберегающих технологий и оборудования, стимулируют развитие распределенной генерации, в том числе с привлечением альтернативных источников энергии, рассматривая данные направления как важную часть своего бизнеса.

Очевидно, подобное положение дел постепенно начинает восприниматься и отечественными энергокомпаниями. Если, еще 10 – 15 лет назад считалось, что централизованному теплоснабжению от крупных ТЭЦ нет альтернативы в плане экономических и экологических показателей, то сегодня небольшие котельные и индивидуальные котлы начинают все шире использоваться разнообразными потребителями. Подобная ситуация может сложиться и в электроэнергетике. Потребители начинают задумываться, как решать свои энергетические проблемы: ориентироваться на централизованные источники или отдать приоритет автономной энергетике. И во многих случаях именно второму варианту отдается предпочтение. Энергетики, увидев, что они начинают терять потребителей, должны задуматься о пересмотре своей традиционной политики.

Встретившись с указанными проблемами, индустриально развитые страны мира разработали и приступили к реализации стратегии глобальной перестройки энергетики получившей название «Smart Grid». Вне зависимости от различия в трактовках данного понятия, используемых различными институтами в США, ЕС, Канаде, России и других странах, общим для данной концепции является

системная модернізація отрасли, затрагивающая все ее составляющие: генерацию, передачу, распределение, сбыт и диспетчеризацию. При этом создаваемая инфраструктура должна обеспечить поддержку энергетических, информационных, экономических и финансовых отношений между всеми субъектами энергорынка и другими заинтересованными сторонами. Одновременно создается мотивация для развития распределенной генерации и активного поведения конечного потребителя, который получает открытый доступ на рынки электрической энергии. Обоснованно считается, что данное решение позволит сделать энергетику более эффективной в условиях неизбежно увеличивающегося энергопотребления, ограниченности энергоресурсов, необходимости строгого соблюдения норм экологической и промышленной безопасности, растущих требований со стороны потребителей к надежности электроснабжения электроэнергией надлежащего качества. Важным стимулирующим фактором при этом является и общий технический прогресс. Новые технологии в различных сферах (машиностроение, силовая электроника и микроэлектроника, системы измерения и передачи информации) позволяют отказаться от развития энергетической отрасли исключительно за счет создания новых мощностей.

Для реализации указанных требований создаваемая инфраструктура должна получить новые свойства, в том числе:

- обеспечение равного доступа любых производителей и потребителей электрической энергии к услугам инфраструктуры;

- наличие стандартизованного гибкого интерфейса «потребитель – сеть», «генератор – сеть» как для возобновляемых, так и традиционных источников энергии с целью их упрощенного подключения к сетям на условиях параллельной работы в составе энергосистемы;

- возможность рационально использовать энергетические ресурсы, существующие базовые и резервные мощности, электрические связи, каналы передачи информации и управления для поддержания сбалансированного производства и потребления энергии в интересах «всех и каждого»;

- обеспечение живучести организационно-технологической схемы энергоснабжения потребителей, позволяющей осуществлять локализацию аварий, недопущение их каскадного развития, возможность автоматического восстановления режимов работы энергетической системы;

- способность ситуационного регулирования нагрузки с максимальным учетом требований (в том числе экономических) потребителей;

- возможность адаптивной реакции электрических сетей в режиме реального времени на основе сочетания централизованного и распределенного управления в нормальных и аварийных режимах с целью обеспечения допустимости параметров функционирования системы;

- «активность» поведения потребителей электроэнергии за счет их оснащения интеллектуальными системами учета с возможностью ситуативного управления спросом;

- получение достаточных объемов информации о текущем состоянии энергосистемы и ее элементов (наблюдаемость), а также (что является принципиально новым) о внешней среде (освещенность, осадки, гололед, ветровые нагрузки и другие метеофакторы) и наличие современной системы управления, позволяющей в реальном времени обрабатывать указанную информацию и принимать адекватные решения;

- обеспечение максимально возможного уровня самодиагностики элементов системы с использованием полученных результатов в автоматических системах противоаварийного управления и при планировании профилактики и ремонтов оборудования;

- применение быстродействующих программ и вычислительных ресурсов, обеспечивающих как выработку автоматических управляющих воздействий, так и предоставление рекомендаций диспетчерскому, оперативно-техническому и ремонтному персоналу для реализации управляющих воздействий и проведения необходимых работ.

Необходимо отметить, что за прошедшие годы многие страны достигли впечатляющих результатов на данном пути. Вместе с тем, Украина является одной из немногих стран, где положения указанной концепции пока не нашли отражения в национальных программах развития энергетики. Казалось бы, что сложившаяся ситуация дает определенные предпочтения в том плане, что позволила бы нам избежать ошибок на пути реформирования отрасли.

Однако заимствовать непосредственно чужой опыт намного проще только число теоретически. Для того, чтобы при этом получить реальный эффект необходимо тщательно проанализировать и учесть при принятии решений целый ряд факторов: базовое состояние отрасли, особенности ее построения и функционирования, финансовые возможности, необходимые для их реализации, действующую нормативную базу и многие другие.

Наивно думать, что Украина сможет в ближайшей перспективе приступить к полномасштабной реализации положений концепции «Smart Grid». Поэтому на сегодняшний день можно говорить лишь о точечной реализации в отечественной электроэнергетике отдельных компонентов данной концепции. Дальнейшие шаги в этом направлении следует, по нашему мнению, рассматривать в двух аспектах:

- в долгосрочной перспективе – проведение комплекса работ, формирующих идеологию развития электроэнергетики Украины с учетом подходов и принципов концепции Smart Grid. Результат – появление стратегического видения перспектив отрасли, «дорожной карты» построения инновационного технологического базиса, механизмов стимулирования новых разработок и внедрения передовых технологий, скоординированных программ модернизации и ресурсного обеспечения инноваций;

- в краткосрочной перспективе – создание системы технологического мониторинга решения данной проблемы в различных странах мира, как информационной базы для анализа данных и генерации соответствующих предложений;

- применение результатов отечественных и зарубежных исследований на практике;

- точечное внедрение отдельных элементов концепции Smart Grid с целью организации ее будущей технологической основы в нашей стране;

- реализация имеющегося научно-технического потенциала в тех сферах, где достижения Украины оказываются конкурентоспособными.

В целом здесь может быть рекомендовано осуществление конкретных пилотных проектов с последующим обобщением и тиражированием результатов. Это направление способно развиваться параллельно с внедрением элементов концепции Smart Grid при условии адаптируемости вышеупомянутых систем к работе в новой сети. Одним из таких направлений, актуальных для Украины, может быть разработка проектов внедрения средств распределенной генерации, в первую очередь, на основе активного использования альтернативных источников энергии.

Распределенная генерация – строительство источников электрической и/или тепловой энергии независимыми производителями или потребителями для собственных нужд, с возможностью направления ее излишков в сети централизованного энергоснабжения самым активным образом развивается во многих странах мира. Важным фактором, стимулирующим развитие распределенной генерации, является стремление к диверсификации топливно-энергетических ресурсов за счет увеличения доли альтернативных и местных (включая технологические отходы) ресурсов. Помимо этого в условиях роста тарифов на энергоносители, платы за недоиспользование заявленной мощности, нехватки генерирующих мощностей, их износе и низкой эффективности интерес к распределенной генерации, тем более, рассматривая возможность когенерации, со стороны пользователей непрерывно растет. При этом данный процесс во многих случаях связан с широким применением возобновляемых источников энергии, распределенный характер размещения которых соответствует данной стратегии. Соединенные непосредственно с сетями централизованного электроснабжения (без аккумуляторов) данные установки активно используются в странах, которые имеют соответствующие государственные программы и действенные механизмы (например, за счет применения специальных тарифов) поддержки альтернативной энергетики. Применение модульной идеологии позволяет легко интегрировать в систему любые (как возобновляемые, так и не возобновляемые) источники. Обеспечение за счет средств силовой электроники генерации электроэнергии стандартных параметров, дает возможность включать отдельные генерирующие установки на параллельную работу, как между собой, так и с энергосистемой, объединять между собой различные локальные микросистемы. Более того, сегодня технологии генерации энергии и используемое для данной цели оборудование (например, газотурбинные, газопоршневые, парогазовые установки, микротурбины, многие альтернативные источники энергии), достигли такого уровня, что создание и эксплуатация объектов малой энергетики требует существенно меньших затрат по сравнению с тем, что наблюдалось еще 10 – 15 лет назад [1].

Судя по опубликованным данным, в странах ЕС установленная мощность построенных за последние годы объектов распределенной генерации практически соизмерима с установленной мощностью новых источников введенных генерирующими компаниями.

Здесь важно также отметить следующее. На базе малой распределенной генерации может создаваться, в определенной мере, новая энергетическая инфраструктура, которая попадает под юрисдикцию региональных (территориальных) образований. Указанный факт дает дополнительные перспективы для развития данного направления. Появление в этом случае новых участников, заинтересованных в развитии малой энергетики, требует разработки и новых экономических моделей, учитывающих наличие возможности бюджетного взаимодействия, кредитной поддержки, финансового стимулирования, в том числе, за счет предоставления налоговых льгот, определенных преференций по обязательным платежам, упрощенного порядка землеотвода, устранения существующих административных барьеров при получении различного рода соглашений и согласований при сооружении объектов распределенной генерации.

Вместе с тем, аналогично межгосударственным и межрегиональным различиям существует заметная не схожесть и между территориальными образованиями в плане структуры и удельного потребления первичных энергоресурсов, использования тепловой и электрической энергии, обусловленных различием климатических условий, размещением и потенциалом производственных мощностей, степенью развития социальной сферы. В связи с этим, отдельные территориальные образования различаются своим

технологическим потенциалом, энергонасыщенностью, степенью развития энергетической инфраструктуры. Таким образом, планирование и реализация региональной энергетической политики зависит от комплекса особенностей различных территориальных образований. Соответственно, чрезвычайно сложно создать единую универсальную модель и применить идентичные методы для решения поставленной задачи. Территориальные различия и их особенности (климатические характеристики; плотность населения; структура, характер и интенсивность промышленного и сельскохозяйственного производства и т.д.) определяют приоритеты и формируют разные сценарии поведения и реализации проектов по реформированию системы энергообеспечения. Таким образом, вектор модернизации энергетики является различным для отдельных регионов.

При составлении и реализации подобных планов, первым шагом должна быть оценка существующей системы энергообеспечения, перспектив экономического развития территории, прогнозов электро- и теплотребления, потенциала местных энергетических ресурсов, включая возможность использования возобновляемых источников энергии. Результаты анализа могут послужить основой для разработки комплексных программ развития отдельных территориальных образований, районов, поселков и городов с включением сюда проектов энергообеспечения с использованием малой энергетики.

На кафедре электроснабжения Института энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (ИЭЭ НТУУ «КПИ») на протяжении многих лет проводятся активные исследования с целью оценки технико-экономических последствий применения распределенной генерации; обоснования наиболее рациональной стратегии ее развития и внедрения в условиях Украины; формирования рекомендаций по выбору оптимальных технологий генерации энергии с помощью возобновляемых источников для различных регионов страны, муниципальных и территориальных образований; определения принципов построения локальных микросистем на основе традиционных и возобновляемых источников энергии.

При рассмотрении указанных задач в масштабах всей страны использовались данные, представленные в [2], а решение принималось с учетом нескольких групп факторов количественного или качественного характера, отражающих специфику отдельных регионов: технических (мощность планируемых к внедрению технологических установок и их к.п.д., их надежность, зрелость применяемых технологий, интересы отечественных производителей оборудования), экологических (уровень выбросов, необходимый земледовод, нарушение водного баланса, шумовое воздействие), экономических (капитальные затраты, эксплуатационные издержки, стоимость топлива, а также вырабатываемой электрической и тепловой энергии), социальных (возможность использования местных ресурсов, включая технологические отходы, создание рабочих мест), достижимого для конкретного региона потенциала использования альтернативных источников определенной технологии, прогноза потребности в тепловой и электрической энергии. При этом анализировалось восемь технологий генерации энергии: фотоэлектрические установки, ветровые турбины, микро и мини ГЭС, геотермальные системы, турбины, использующие доменный газ, установки на биомассе, тепловые насосы, микротурбины, ориентированные на энергию сточных вод [3].

Для решения полученной таким образом многокритериальной задачи использовался метод анализа иерархий [4]. Итогом указанных исследований явилось формирование атласа приоритетных технологий генерации электрической и/или тепловой энергии на основе возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для отдельных областей и АР Крым, а также 8 энергосистем Украины. Полученные результаты призваны оказать помощь региональным органам власти и потенциальным инвесторам при принятии решений относительно разработки и внедрения инновационных проектов по комплексному использованию энергетического потенциала в отдельных регионах Украины.

Условно можно считать, что с технической точки зрения интеграция источников распределенной генерации в энергосистемы осуществляется на трех иерархических уровнях. Крупные источники подключаются, как правило, к существующим понизительным подстанциям, либо к специально сооружаемым подстанциям с трансформацией на напряжение 110 кВ и выше для передачи энергии в крупные центры электропотребления. Источники средней мощности (до нескольких МВт) интегрируются в большинстве случаев непосредственно в распределительные сети 6 ... 35 кВ. К сетям низкого напряжения подключаются установки малой мощности, применяемые небольшими потребителями.

В зависимости от уровня интеграции устройств распределенной генерации в электрические сети, для их эффективной совместной работы часто необходима реализация различных новых технологий. На верхнем уровне целесообразным может быть использование вставок постоянного тока для межсистемных связей, создание гибких линий электропередачи (FACTS), осуществление полной автоматизации подстанций. В распределительных сетях потребуется использование комбинированных терминалов коммутации, защиты и автоматического управления, внедрение систем мониторинга и диагностики состояния, работающих в режиме «on-line». Использование распределенной генерации в

низковольтных сетях тесно связано с внедрением интеллектуальных систем учета, созданием «умных» домов, формированием активных потребителей электроэнергии.

Учитывая приведенные соображения, на кафедре электроснабжения ИЭЭ НТУУ «КПИ» была выполнена серия работ, связанных с определением наиболее рациональных условий интеграции источников распределенной генерации в электрические сети различных номинальных напряжений и оценкой их влияния на режимные показатели формируемых при этом интегрированных систем. Очевидно, что характер и степень влияния на режим зависят от уровня напряжения, на котором генератор подключается к сети, а, соответственно, и возможной мощности указанных источников. В частности, ощутимый эффект от применения устройств малой мощности будет иметь место только при их массовом использовании. В этом случае критерием для выбора рациональных условий их применения служило требование формирования максимально однородных графиков нагрузки отдельных ТП и участков распределительной сети [5]. Было показано, что выполнение данного условия позволяет повысить пропускную способность отдельных элементов сети, снизить потери электрической энергии, существенно облегчить условия обеспечения допустимых отклонений напряжения на зажимах электроприемников.

При использовании источников большей мощности, подключаемых к распределительным сетям, в общем случае, уже следует непосредственно учитывать их влияние на несколько показателей режима: величину потерь мощности и электрической энергии, потерю напряжения, надежность электроснабжения. При этом задачи, связанные с рациональным применением средств распределенной генерации, рассматривались в двух аспектах: выбор оптимальной точки подключения источника заданной мощности и определение наиболее рациональной мощности источника, подключаемого в конкретной точке сети [6]. Параллельно с этим решался и комплекс вопросов направленных на выбор параметров основных средств регулирования напряжения, оценку потерь электрической энергии, рациональное размещение секционирующих устройств в условиях применения в распределительных сетях генерирующих и/или аккумулирующих источников [7].

При ориентации на средства распределенной генерации большой мощности, которые интегрируются в распределительные сети или присоединяются непосредственно к шинам подстанций, требуется одновременно учитывать потери мощности в питающих сетях 110 – 220 кВ. При этом во многих случаях, в связи с отсутствием в распределительных компаниях доступа к оперативной информации относительно параметров и характеристик режима сетей данного класса, целесообразно представлять их определенными эквивалентами. В связи с этим были разработаны алгоритмы функционального эквивалентирования электрических сетей (для оценки изменения потерь мощности и электрической энергии) на основе математического аппарата факторного планирования экспериментов [8].

Важным направлением развития распределенной генерации является формирование микросистем, которые представляются различным набором генерирующих и аккумулирующих установок, использующих разнообразные технологии. Подобные микросистемы могут представлять собой изолированные энергетические острова, либо иметь связь и взаимодействовать с единой энергосистемой. При этом возникает вопрос выбора их оптимальной структуры и параметров. Сложность принятия решения в данном случае связана со следующими обстоятельствами.

Очевидно, что, в принципе, каждый субъект энергорынка имеет свои интересы (в общем случае если и не противоречивые, то, по крайней мере, не совпадающие) и, соответственно, собственные критерии оптимальности принимаемых решений. Таким образом, удовлетворить одновременно всех участников энергорынка, обеспечив достижение оптимальных значений критериев интересующих каждого из субъектов принципиально невозможно. Данное обстоятельство приводит к необходимости разработки и использования методов многокритериального управления, а, соответственно, и многокритериального принятия решений при проектировании указанных объектов.

Еще одной особенностью решения указанных задач является необходимость учета фактора неопределенности различной природы. В частности, это вытекает из того, что сегодня любой субъект хозяйственной деятельности вынужден принимать решения в конкурентных рыночных условиях. Неопределенность в контексте подобных задач трактуется как неполнота или неточность информации об условиях реализации инвестиционного проекта, в том числе и относительно связанных с этим процессом затрат и доходов. Очевидно, что невозможно обладать абсолютно достоверными и всесторонними данными о настоящем состоянии системы, ее поведении в будущем, также как практически невозможно точно предугадать все изменения, которые могут произойти во внешней среде особенно в долгосрочной перспективе. При этом всегда существуют внешние факторы, в значительной мере определяющие результаты инвестиционного проекта. Таким образом, источники неопределенностей находятся вне рамок хозяйствующих субъектов.

В связи с этим на кафедре электроснабжения ИЭЭ НТУУ «КПИ» был разработан и реализован двухэтапный эвристический алгоритм многокритериального выбора оптимальной структуры и параметров микросистем [9]. Первый этап заключается в генерации множества возможных альтернатив и

аргументированном отборе относительно небольшой группы наиболее целесообразных для конкретных условий. Здесь должны быть определены как возможные варианты организации структуры системы, так и ориентировочное соотношение мощностей отдельных технологических групп входящего в нее генерирующего оборудования. Следующий этап уже связан с полноценным технико-экономическим сравнением ограниченного числа отобранных вариантов, для которых можно будет определить конкретные стоимостные и технические характеристики всего планируемого к применению оборудования.

Первоначальный анализ возможных альтернативных решений относительно построения микросистемы осуществляется с учетом нескольких групп факторов (как количественных, так и качественных) экономического (удельные капитальные затраты и эксплуатационные издержки), технического (время использования максимума для определенной технологической установки, условия ее интеграции в энергосистему, эффективность использования тепловой энергии, уровень риска, определяемый степенью диверсификации используемых источников), социального (выбросы в окружающую среду, степень обеспеченности местными первичными энергетическими ресурсами) характера. Очевидно, что на предварительной стадии проектирования детализация количественных характеристик всех указанных факторов для каждой альтернативы не только невозможна, но и нецелесообразна. В связи с этим на данном этапе они задаются интервальными величинами, что объективно отражает характер доступной информации.

Второй этап решения задачи связывается уже с детальным технико-экономическим анализом ограниченного ряда наиболее предпочтительных вариантов (определенных на первом этапе), учитывая фактические стоимостные и технологические параметры предполагаемого к использованию оборудования. Для этой цели предлагается применить классические процедуры инвестиционного анализа, однако, с учетом неопределенности ряда характеристик, например, при интервальном задании коэффициента дисконтирования, аргументированное определение которого в детерминированной форме всегда вызывает затруднения. Данный подход позволяет усилить аргументированность принимаемых решений и, тем самым, повысить эффективность комплексного использования средств распределенной генерации.

Ситуация складывается таким образом, что распределенная генерация в настоящее время начинает формироваться в самостоятельную подотрасль энергетики, являясь важной тенденцией ее развития на основе многообразия форм и способов энергообеспечения. Проведенные на кафедре электроснабжения ИЭЭ НТУУ «КПИ» исследования являются шагом к тому, чтобы данное направление могло рассматриваться в качестве важной составляющей инновационно-технологического обеспечения структурного реформирования энергетической отрасли с целью повышения энергетической эффективности всей экономики нашего государства.

### Литература

1 Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения [Текст] / А.В. Праховник – К.: Освіта України, 2007. – 464 с., ил. – Библиог.: с. 459 – 463. – 500 экз. – ISBN 978-966-8847-61-5.

2 Кудря С.О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України: Енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих рік, енергія біомаси, геотермальна енергія енергія доквілля, енергія скидноенерготехнологічного потенціалу, енергія нетрадиційного палива [Текст] / С.О. Кудря, Л.В. Яценко, Г.П. Душина та ін. – К.: НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, 2001. – 41 с.

3 Праховник А.В., Ковальчук А.М., Кокоріна М.Т., Савченко А.С. Свідоцтво про реєстрацію авторського права «Атлас пріоритетних технологій генерації електричної та/або теплової енергії на основі відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії для регіонів України», № 42260 від 02.12.2011.

4 Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; перевод с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: «Радио и связь», 1993. – 278 с. – Библиог.: с. 273 – 275.

5 Праховник А.В. Модель інтеграції децентралізованої генерації в енергетичну систему на найнижчому рівні ієрархії управління [Текст] / А.В. Праховник, В.А. Попов, О.В. Кулик // Енергетика: економіка, технології, екологія / Науч. журнал. – К.: НТУУ «КПИ», 2006. – № 1. – С. 101 – 109. – Библиогр.: с. 108 – 109. – 150 экз. – ISSN 1813-5420.

6 Попов В.А. Пути рационального формирования та управление режимами интегрированных систем электроснабжения [Текст] / В.А. Попов, В.В. Ткаченко, Е.С. Луцько // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України / Збірник наукових праць. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2010. – Спеціальний випуск. – С. 60 – 65. – Библиогр.: с. 65. – 300 экз. – ISSN 1727-9895.

7 Праховник А. Распределенная генерация: состояние и перспективы [Текст] / А. Праховник, В. Попов, В. Ткаченко, F. Farret, A. Abaide, A. Saldanha, E. Freitas // Новини енергетики / Научно-технический информационно-аналитический журнал. – К., 2003. – № 3-4. – С. 54 – 58. – Библиогр.: с. 28.

8 Popov V.A. Multicriterial analysis for optimal location of distributed energy sources, considering power system / V.A. Popov, L.N. Canha, F.A. Farret, D.P. Bernardon, A.L. Konig, L. Comassetto // Proceedings of the IX Symposium of Specialists in Electrical Operational and Expansion Planning. – Rio de Janeiro, Brazil, 2003. – PP. 243 – 249.

9 Попов В.А. К вопросу рациональной интеграции источников распределенной генерации [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолук, В.В. Ткаченко, С. Банузаде Сахрагард // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України / Збірник наукових праць. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2011. – Спеціальний випуск. Ч.1 – С. 111 – 121. – Библиогр.: с. 121. – 300 экз. – ISSN 1727-9895.

УДК 621.311.001.57(063)

О.М. ЗАКЛАДНИЙ, О.О. ЗАКЛАДНИЙ, Т. Ю. ОБОРОНОВ

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ СИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА ПАСПОРТНИМИ ДАНИМИ

О.М. ЗАКЛАДНИЙ, О.О. ЗАКЛАДНИЙ, Т. Ю. ОБОРОНОВ

## МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ

A. ZAKLADNYI, O. ZAKLADNYI, T. OBORONOV

## METHODS OF CALCULATING OPERATING PARAMETERS SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE BY PASSPORT DATA

**Анотація.** У статті наведено алгоритм, методику і модель розрахунків статичних характеристик та енергетичних параметрів енергоспоживання й енерговикористання синхронного електродвигуна.

**Ключові слова:** синхронний двигун, діагностування, потужність, втрати, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності.

**Аннотация.** В статье приведены алгоритм, методика и модель расчётов статических характеристик и энергетических параметров энергопотребления и энергоиспользования синхронного электродвигателя.

**Ключевые слова:** синхронный двигатель, диагностирование, мощность, потери, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности.

**Annotation.** The article presents the algorithm, method and model for the calculation of static characteristics, energy consumption and energy use parameters for synchronous electric drive.

**Key words:** induction motor, diagnostics, power, losses, efficiency, power factor.

**Вступ.** Обстеження ряду промислових підприємств показали, що синхронні двигуни (СД) на цих підприємствах недовантажені. Двигуни, які працюють із навантаженням меншим 50% номінального, використовуються неефективно й мають низькі енергетичні показники. Для визначення впливу різноманітних факторів на ефективність процесу перетворення енергії СД проводяться вимірювання діагностичних параметрів (фазних струмів, напруг) з подальшою їх оцінкою. В системі функціонального діагностування вихідні дані діагностичної моделі порівнюються з даними моделі еталонів, від якої залежить оцінка вірогідності отриманих результатів і висновків.

Для розрахунків робочих параметрів СД пропонується методика, яка може бути застосована в системах функціонального діагностування для визначення технічного й енергетичного стану електропривода.