

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ МРЕЖИ В БЪЛГАРИЯ

Роберто Трендафилов

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, България
robertovt@abv.bg*

OPPORTUNITIES FOR IMPLEMENTING SMART GRIDS IN BULGARIA

Roberto Trendafilov

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia, Bulgaria
robertovt@abv.bg*

Abstract

The implementation of smart grids in Bulgaria is driven by the need to improve the efficiency of energy production and distribution, increase reliability, enable consumers to control their consumption, and reduce the negative impact of the electricity industry on climate change. The introduction of smart grids in the country will have numerous advantages related to improving the existing electricity transmission network, using energy from renewable sources, etc. Challenges in the implementation of smart grids arise from the need for significant financial resources, infrastructure problems, and cyber risks.

Keywords: smart grids, opportunities, advantages

ВЪВЕДЕНИЕ

Интелигентната електрическа мрежа (по-известна като smart grid или умна електрическа мрежа) е резултат от технологичната реформа в електроенергетиката. Интелигентната мрежа представлява модерна енергийна система, която интегрира традиционните електрически мрежи с комуникационни технологии и устройства, използвани за ефективно управление на производството и разпределението на електроенергия [6]. Целта на интелигентните мрежи е да се повиши качеството на електрозахранване на потребителите, както и да се постигне оптимално оползотворяване на енергията от възобновяеми източници. Използването на интелигентна мрежа довежда до модернизирание и автоматизиране работата на съществуващите електрически мрежи.

Интелигентната мрежа предоставя възможност на потребителите да контролират как използват електричество, в резултат на което се постига разумно използване на енергия и намаляване на разходите [9]. Основният фокус на интелигентните мрежи е върху четири ключови области – производство, пренос, разпределение и потребление [4]. Като система интелигентната мрежа контролира, работи и използва източници на енергия, които са интегрирани в мрежата чрез интелигентна комуникационна технология и компютъризирани процедури [2]. Използването на интелигентна мрежа намалява броя на прекъсванията в електрозахранването, като същевременно повишава общата ефективност и предоставя на потребителите по-голяма степен на влияние върху разпределянето и

използването на енергия [1]. Внедряването на интелигентни мрежи в България е породено от необходимостта да се подобри ефективността на производство и разпределяне на енергия, да се повиши надеждността, да се предостави възможност на потребителите да контролират потреблението си и да се намали негативното влияние на електроенергийната индустрия върху климатичните промени.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Производството на електрическа енергия в България се извършва в електрически централи, чрез преработката на първични енергоносители (въглища, ядрено гориво, възобновяеми източници и др.). В основата на повечето електрически централи е електрически генератор, който преобразува енергията от природен ресурс – механична енергия от налягането на водата (ВЕЦ), топлина на изгаряно гориво, сила на вятъра и на течението на реките в електрическа енергия. В България няма приливна ВЕЦ. Произведената електрическа енергия се трансформира и пренася с използването на изградената електропреносна мрежа до места, на които се осъществява разпределението ѝ до крайния потребител (стопански и битов). Страната ни разполага с електропроизводствен микс, който се състои от Атомна електроцентрала "Козлодуй" (като основен базов източник) и термични централи, както и централи, използващи възобновяеми източници (вятърни, водни, слънчеви и електроцентрали на биомаса).

Българският енергиен сектор е относително малък в световен мащаб, но въпреки това заема значително място в индустрията на страната, като обхваща основно производството на електричество и преноса на нефт и газ за западните пазари. Секторът е стратегически за националната сигурност и икономическото развитие на страната, поради което през последните години се правят значителни инвестиции, основно насочени към рехабилитация на централите, по-

строяването на допълнителни мощности, както и разширяване на мрежата за доставки. България разполага с комплексна електроенергийна инфраструктура, както и разнообразен електропроизводствен микс, с което се гарантира сигурността на доставките на електроенергия в страната.

България води енергийна политика, която е насочена към защита на националния и обществен интерес, като се цели гарантиране на енергийна независимост, постигане на устойчиво енергийно развитие, ефективно използване на енергийните ресурси и енергията, както и задоволяване на потребностите на обществото от електрическа енергия. Основните цели на енергийната политика са свързани с поддържане на надеждна и сигурна енергийна система, устойчиво използване на енергийните ресурси, разширяване и модернизиране на енергийната инфраструктура, включително електропреносната и електроразпределителните мрежи, осигуряване на енергийните нужди и защита интересите на потребителите, постигане на равнопоставен достъп до мрежата за всеки потребител и постигане на баланс между качество, количество и цена на електрическата енергия за крайните потребители [11]. Сред приоритетните цели във водената политика е насърчаване развитието на разпределителните мрежи, чрез въвеждане на интелигентни мрежи, които следва да бъдат изградени по начин, позволяващ децентрализирано производство на енергия и постигане на енергийна ефективност.

Електропреносната мрежа в България включва електропроводни линии, които са с обща дължина от 15 964.93 km, кабелни електропроводи и 299 електрически подстанции. Електропреносната мрежа в България включва мрежа 400kV, мрежа 220kV и мрежа 110kV, свързани помежду си чрез системни автотрансформатори и трансформатори.

За развитието на интелигентни мрежи в България вече са предприети определени дейности. В страната се изпълнява

проект „Цифрова трансформация на електропреносната мрежа“, който е финансиран по Механизма за възстановяване и устойчивост на ЕС. Инвестицията е част и от Плана за възстановяване и устойчивост на България, стълб „Зелена България“, мярка „Нисковъглеродна икономика“, като цели да се допринесе за постигане на зелен и цифров преход. Основната цел за изпълнение на проекта е да се постигне цялостно модернизиране на дейностите, свързани с планиране, управление и поддържане на електропреносната мрежа в страната, чрез въвеждане на съвременни дигитални средства и методи. С изпълнението на поставената цел се очаква създаването на условия за присъединяване на нови възобновяеми мощности, повишаване на междусистемния капацитет за пренос на електроенергия, както и постигане на маневреност, бързо действие, сигурност и повишаване на адаптивността на управление и степента на наблюдение на електроенергийната система в реално време и при условия на нисковъглеродно производство. Като индикатори за постигане на определени резултати от изпълнение на посочения проект са определени увеличаването на капацитета за присъединяване на нови възобновяеми мощности към електроенергийната система с най-малко 4 500 MW, както и увеличаване на междусистемния капацитет за пренос на електроенергия чрез по-добро използване на съществуващите активи най-малко с 1200 MW. Към настоящия момент по проекта се изпълняват дейности, свързани с осигуряване на технически условия за интегриране в електроенергийната система на 2500 MW нов капацитет за производство от възобновяеми източници (вятърна и слънчева енергия) и увеличаване на нетния трансграничен преносен капацитет с 600 MW. Предвидените за изпълнение отделни подпроекти са свързани с автоматизирано управление на подстанции, модернизиране на SCADA в опорен пункт за постигане на далечно резервиране, модернизиране на

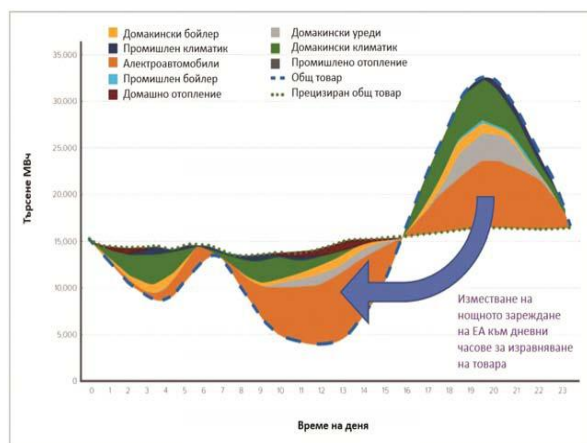
телекомуникационната мрежа, изграждане на цялостна система за киберсигурност, създаване на виртуални работни среди, модернизиране на системата за администриране на пазара на електрическа енергия, както и осигуряване на динамично наблюдение на преносните възможности (проект „Цифрова трансформация на електропреносната мрежа“). Изпълнението на отделните подпроекти по проект „Цифрова трансформация на електропреносната мрежа“ е значителна стъпка по посока внедряване на интелигентни мрежи в електропреносната система на България [10].

Въз основа на извършения анализ на сектора и предприетите дейности за неговото модернизиране могат да се изведат насоки за внедряване на интелигентни мрежи.

На първо място, е важно да се уточни, че интелигентните мрежи имат способности не само да запазват домакинствата с електроенергия, но и да пренасят такава, която е генерирана от възобновяема енергия. В тази връзка при внедряването на интелигентните мрежи е необходимо да се извършат технологични промени в използваните съоръжения на електропреносната мрежа, включително по отношение на присъединяването на различни възобновяеми енергийни източници към електроразпределението, така и във връзка с оперативното управление на тези източници и намаляване загубите на енергия. Увеличеното използване на модерни електроизточници увеличават нуждата от използване на съвременни технологични решения за мониторинг и управление, чрез които да се намали времето, свързано с прекъсване на захранването, да се намалят разходите от различни повреди в системите и да се постигне приспособяването ѝ към постоянно променящото се натоварване. Използването на интелигентни мрежи ще доведе и до разрешаване на един от основните проблеми при използване на енергия от възобновяеми източници, а именно непостоянното производство на

енергия, което довежда до претоварване на мрежата и негативно влияние върху крайните потребители на енергия.

Производството на енергия може да варира, тъй като вятърът и слънцето не винаги са последователни. Интелигентните мрежи се справят с тези трендове, използвайки съвременни технологии и съхранение на енергия. Когато има излишна слънчева енергия, например, мрежата я съхранява в батерии за по-късна употреба. Това помага да се поддържа стабилно и надеждно енергийно снабдяване, дори когато възобновяемите източници не винаги са налични. Един от най-големите бъдещи товари – зареждането на електромобили (ЕА) – може да бъде управляван интелигентно, за да се постигне този баланс [7]. Този процес на изравняване на натоварванията е илюстриран на Фигура 1. Фигурата показва как зареждането на електромобили се измества, за да съвпадне с пиковото производство на слънчева енергия, като по този начин се изравнява натоварването в мрежата.



Фиг. 1. Възможност за гъвкави натоварвания при зареждане на ЕА с цел намаляване на пиковете на комуналната система и изравняване на натоварванията [7]

Интелигентните мрежи играят ключова роля в насърчаването на развитието на разпределителните мрежи, което е приоритетна цел в българската енергийна политика, за да се постигне децентрализирано производство на енергия. Тези

мрежи улесняват свързването на по-малки, локални енергийни източници (като слънчеви панели или малки вятърни турбини), известни като директни енергийни източници (DER). За разлика от традиционните електроцентрали, DER произвеждат или съхраняват енергия близо до мястото, където се използва.

Ползите от интеграцията на DER са съществени: Чрез управлението на тези локални източници, интелигентните мрежи позволяват на DER да връщат енергия обратно в мрежата. Това е съществена полза, тъй като облекчава напрежението по време на пиково търсене. Интеграцията на DER създава по-устойчива и гъвкава система, която позволява на потребителите да използват и генерират възобновяема енергия.

На второ място, необходими са инвестиции в различни технологични решения за внедряване на интелигентни мрежи в България. Принципите на работа на интелигентните мрежи включват сложна комбинация от хардуер, софтуер и комуникационни технологии, които събират, анализират и действат върху данни в реално време. Комуникационните мрежи са от съществено значение, тъй като те позволяват обмен на данни в реално време за по-бързо вземане на решения в цялата мрежа. Усъвършенстваната инфраструктура за измерване (AMI) е от решаващо значение, тъй като позволява двупосочна комуникация между потребителите и комуналните услуги, използвайки интелигентни измервателни уреди и системи за данни.

Интелигентните измервателни уреди предоставят данни за енергията в реално време, помагайки на комуналните услуги и потребителите да управляват потреблението по-ефективно.

Сензорите и системите за управление проследяват състоянието на мрежата, идентифицират проблеми и пренасочват енергията, за да намалят прекъсванията.

Разпределителните енергийни ресурси управляват възобновяеми източници като слънчева и вятърна енергия, за да

поддържат надеждно енергоснабдяване.

Системите за съхранение на енергия съхраняват излишната енергия, когато търсенето е ниско, и я освобождават по време на периоди на високо търсене, за да поддържат мрежата ефективна.

Усъвършенстваната инфраструктура за измерване (AMI) също е от решаващо значение за интелигентните мрежи, позволявайки двупосочна комуникация между потребителите и комуналните услуги. Тя използва интелигентни измервателни уреди и системи за данни за проследяване и анализ на потреблението на енергия. AMI предоставя на потребителите информация в реално време за по-интелигентен избор на енергия, помагайки на комуналните услуги да намалят пиковото търсене, да предотвратят прекъсвания и да повишат ефективността. Тя също така предлага ценообразуване и обратна връзка в реално време за прозрачно и ефективно използване на енергията [5].

Интелигентните мрежи използват данни в реално време, за да съобразят предлагането на електроенергия с търсенето, подобрявайки ефективността. По време на пикови часове те могат да пренасочват или да използват съхранена енергия, за да поддържат баланса на системата. Това динамично регулиране помага за предотвратяване на неефективността, често срещана в традиционните мрежи.

Съществено предимство на интелигентните мрежи е способността им бързо да откриват повреди и прекъсвания. Разширеното наблюдение непрекъснато проследява производителността на мрежата, като идентифицира проблемите рано. При прекъсване интелигентните мрежи могат автоматично да пренасочват захранването, за да сведат до минимум прекъсванията, позволявайки на доставчиците на комунални услуги да реагират по-бързо и да намалят времето на престой [6].

На трето място, следва да се извърши внедряване на интелигентни уреди в до-

макинствата. Внедряването на интелигентни уреди превръща домовете в интелигентни, оборудвани със сензори, координиращи множество умни уреди и консумацията на електричество. Умните домове могат също да използват сензори за намаляване на консумацията на енергия, например чрез изключване на осветлението или отоплението, когато няма никой въкъщи.

Препоръчва се използването на система за управление на енергията в домовете, която да комуникира с интелигентните измервателни уред и всички интелигентни уреди едновременно, получавайки информация за използваната електроенергия в реално време, производството на възобновяема енергия и др., с което може да се контролира дейността на всички уреди [3].

Интелигентните измервателни уреди в домакинствата са неразделна част от интелигентните мрежи. Устройствата за интелигентни мрежи обикновено се реализират като вградени системи, включващи програмируеми логически контролери (PLC), отдалечени терминални устройства (RTU), интелигентни електронни устройства (IED), устройства за измерване на фазори (PMU), едноцелеви процесни интерфейси човек-машина (HMI), системи за защита на захранването, трансформатори, повторни включения, Volt/VAR системи и почти всяко полево устройство в рамките на интелигентната мрежа, което не е сървърно-базирана система. Тези вградени системи изпълняват логически операции, изчисления, наблюдение и контролни задачи въз основа на външни сензорни данни, като микроконтролерите или микропроцесорите служат като централизирани компоненти за вземане на решения [12]. В тази връзка не е възможно въвеждането на интелигентни мрежи в България, без да бъдат внедрени интелигентни уреди в домакинствата.

Въпреки безспорните предимства при внедряването на интелигентни мрежи в България следва да се вземат в предвид и

някои предизвикателства. Едни от основните предизвикателства са свързани с необходимостта от значителна инвестиция за надграждане на съществуващите мрежи и инфраструктурни проблеми. Тези предизвикателства са характерни за развитието на интелигентни градове в световен мащаб, където технологичната зависимост изисква съществени инвестиции, а постоянната свързаност увеличава рисковете за поверителността на личните данни и налага значително увеличаване на разходите за киберсигурност [8]. В тази връзка е препоръчително започването на по-малки пилотни проекти за внедряване на технологии, за да могат ефективно да се тестват подобренията, преди да се разширят мащабно. Други предизвикателства са свързани с факта, че дигиталният характер на интелигентните мрежи създава предпоставки за киберрискове. Тези рискове могат да бъдат свързани с атаки към IoT устройства (като интелигентни измервателни уреди и сензори) или със системни атаки, които могат да причинят прекъсвания на електрозахранването. Сигурността на данните е от съществено значение, тъй като интелигентните мрежи събират обширни потребителски данни, които следва да бъдат защитени. За ограничаване на тези рискове в България е необходимо да се използва силно криптиране, редовно да се актуализира софтуера на мрежите, да се инсталират защитни стени за устройствата и да се прилагат други стратегии за подобряване киберсигурността на критичната инфраструктура. Осигуряването на защита на интелигентните мрежи има съществено значение, защото при работата си те събират обширни потребителски данни, които следва да бъдат защитени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедряването на интелигентни мрежи в България е стратегически необходимо за подобряване на ефективността, надеждността и постигане на зеления и цифровия преход. Интелигентните мре-

жи използват IoT сензори и интелигентни измервателни уреди, за да наблюдават постоянно енергийните потоци, което позволява по-бърза реакция при прекъсвания и неефективност, като правят управлението на енергията по-прецизно. Функциите на интелигентните мрежи позволяват коригиране на потреблението на енергия в реално време, предотвратяване на рискове от прекъсвания, мониторинг и самовъзстановяване при повреди, като и съхранение и разпределяне на енергия от различни възобновяеми източници. В България въвеждането на интелигентни мрежи ще има множество предимства, свързани с подобряване на съществуващата електропреносна мрежа, използване на енергия от възобновяеми източници и др. Предизвикателства при въвеждането на интелигентните мрежи се пораждат от необходимостта от значителен финансов ресурс, инфраструктурни проблеми и киберрискове.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abdullah, A. Hassan, T. Smart grid (SG) properties and challenges: an overview. *Discover Energy* 2, 8, 2022 <https://doi.org/10.1007/s43937-022-00013-x>
- [2] Acakpovi, A. Abubakar, R. Asabere, N. Barriers and prospects of smart grid adoption in Ghana *Procedia Manuf.*, 35, 2019, 1240-1249
- [3] Ameer, A. Berrada, A. Emrani, A. Intelligent energy management system for smart home with grid-connected hybrid photovoltaic/ gravity energy storage system. *Journal of Energy Storage*, Volume 72, 2023.
- [4] Kapitonov, I. Patapasc, A. Principles regulation of electricity tariffs for the integrated generation of traditional and alternative energy sources. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 146, 2021.
- [5] Larik, R. Mustafa, M. Technologies used in Smart Grid to implement Power Distribution System. *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering* 16(2), 2015, 232-246
- [6] Mahmoud, M. Tang, A. Maselena, A. Lim, F. Kasim, H. Yong, C. Mostafa, S. A Review on Smart Energy Grid Technology: Features and Specifications. *Journal of En-*

- gineering and Applied Sciences 15 (2), 2020, 535-547
- [7] Nikolov, N. Inteligentni gradove i revolyutsiyata v elektromobilnostta: Integratsiya, tekhnologii i upravlenie, Sofia, Avangard prima, 2025, ISBN 978-619-279-149-0.
- [8] Nikolov, N. Smart cities as a tool for environmental sustainability: opportunities and challenges. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference, Volume I, 2024, 261-266, DOI:10.17770/etr2024vol1.7948
- [9] Ohanu, C. Rufai, S. Oluchi, U. A comprehensive review of recent developments in smart grid through renewable energy resources integration. Heliyon, volume 10, issue 3, 2024.
- [10] Proekt „Tsifrova transformatsia na elektroprenosnata mrezha. Elektroenergien sistemen operator, 2024.
- [11] Strategia za ustoychivo energiyno razvitie na Republika Bulgaria do 2030 g. s horizont po 2050 g., 40-51.
- [12] Torres, B. Borges da Silva, L. Salomon, C. de Moraes, C. Integrating Smart Grid Devices into the Traditional Protection of Distribution Networks. Energies. 15(7):2518, 2022.