

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФЕДОРЧУК СТАНІСЛАВ ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.311.1

ДИСЕРТАЦІЯ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАЯВЛЕНИХ ГРАФІКІВ ГЕНЕРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАННИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи
14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ С.О. Федорчук

Науковий керівник
Немировський Ілля Абрамович
кандидат технічних наук, с.н.с

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Федорчук С. О. Забезпечення заявлених графіків генерації відновлюваних джерел енергії на основі концепції віртуальних електричних станцій – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи (141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України, Харків, 2019.

Зміст анотації. Дисертація присвячена розв’язанню актуальної науково-прикладної задачі у галузі забезпечення заявлених графіків видачі потужності у вузлі генерації електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії (ВДЕ), шляхом використання систем акумуляції та концепції віртуальних електричних станцій.

Актуальність теми дисертаційної роботи полягає у наступному, сучасні тенденції в розвитку електроенергетичних систем передбачають суттєве збільшення частки електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії в загальній структурі генерації розвинутих країн, що призводить до необхідності їх додаткового резервування.

Згідно статті 71.5 закону про «Ринок електричної енергії України», Гарантований покупець повинен придбати всю енергію від виробників з ВДЕ, що працюють за «Зеленим тарифом». Особливістю режимів роботи електричних станцій на відновлювальних джерелах є майже пряма залежність від погодних умов, що призводить до відхилень значення потужності в точках генерації від заявлених значень. Отже виникає необхідність в компенсації виникаючих небалансів.

Використовуючи концепцію віртуальних електричних станцій, що поєднують електричні станції на ВДЕ, активних споживачів та системи акумуляції в єдину станцію зі спільною системою управління, можливо зменшити небаланси в точці генерації. Це потребує створення методів вибору оптимальної компоновки систем накопичення; алгоритмів систем управління для віртуальних електричних станцій та розподілених систем акумуляції; рекомендацій по їх застосуванню для електричних мереж, які тільки починають перехід від традиційних до інтелектуальних і мають дефіцит маневрових потужностей.

Розробка технічних заходів для забезпечення заявлених графіків роботи сонячних електростанцій (СЕС) та вітряних електростанцій (ВЕС) дозволить їх інтегрувати до графіку генерації в якості базових станцій. Це дасть можливість виконати зобов'язання всіх учасників процесу та не порушувати заплановані режими роботи інших станцій.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у забезпеченні заявлених графіків видачі потужності у вузлі генерації електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії, шляхом використання систем акумуляції та концепції віртуальних електричних станцій.

Для досягнення поставленої мети визначені задачі дослідження:

- проаналізувати основні методи та засоби забезпечення графіків видачі потужності електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії в Україні та світі і фактори, що впливають на них;
- розробити математичну модель для дослідження режимів роботи електричних станцій гібридної генерації на основі сонячної та вітроелектростанції та провести перевірку адекватності розробленої математичної моделі;

- уточнити методику розрахунку вартості електричної енергії від систем акумуляування у вузлі генерації з урахуванням втрат при передачі та перетворенні енергії;
- вдосконалити методику оптимізації конфігурації систем акумуляування для балансування генерації СЕС та ВЕС за умови мінімізації питомої вартості електричної енергії;
- провести комп'ютерне моделювання роботи електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії на основі погодних даних обраного адміністративного району України з метою визначення необхідної конфігурації системи акумуляування на основі розробленої методики;
- розробити комп'ютерну модель віртуальної електричної станції, що поєднує в собі удосконалені математичні моделі генерації активної потужності СЕС і ВЕС, комп'ютерні моделі систем накопичення енергії, імітацію активних споживачів і енергетичного ринку, а також елементи апаратно-комп'ютерного моделювання.
- розробити алгоритм роботи інформаційно-керуючої системи віртуальної електричної станції, на основі уточненого методу розрахунку вартості електричної енергії та провести його апробацію на комп'ютерній моделі віртуальної електричної станції.
- дослідити можливість застосування концепції віртуальних електричних станцій для забезпечення добових графіків генерації з урахуванням вимог Гарантованого покупця.

Об'єктом досліджень – електромагнітні процеси в мережах з електричними станціями на основі відновлювальних джерел енергії.

Предметом досліджень – електричні та інформаційні параметри режимів обладнання електричних станцій на відновлюваних джерелах енергії.

Наукова новизна одержаних результатів:

1) Отримала подальший розвиток математична модель віртуальної електричної станції, яка відрізняється від існуючих тим, що додано елементи для зв'язку з реальним програмованим логічним контролером ОВЕН 110-60 та на основі регресійного аналізу враховано додатковий коефіцієнт співвідношення вхідних погодних умов та результуючої потужності для встановлення відповідності з реальними характеристиками обладнання, що дозволило застосувати апаратно-програмне моделювання, збільшити точність розрахунку вихідної активної потужності сонячної електричної станції на 5% та проводити моделювання роботи вітряної електричної станції на швидкостях вітру більших за номінальні.

2) Отримав подальший розвиток метод розрахунку вартості електричної енергії яка використовується для забезпечення добових графіків генерації ВДЕ на основі акумуляції в межах однієї віртуальної електричної станції, який відрізняється від відомих врахуванням витрат пов'язаних з розташуванням, встановленням та роботою додаткового обладнання, що дозволяє підвищити точність виконання розрахунків і підвищити енергоефективність таких систем за рахунок задіяння найбільш доцільних їх елементів.

3) Науково і технічно обґрунтовано використання концепції віртуальних електричних станцій для забезпечення добових графіків генерацій сонячних та вітроелектростанцій в умовах енергетичного ринку України, що дозволить забезпечити функціонування механізму Гарантованого покупця з мінімальним застосуванням додаткових маневрових потужностей.

Практичне значення одержаних результатів. Для електроенергетичної галузі України полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень визначені способи оптимізації режимів роботи електричних станцій на відновлювальних джерелах енергії за допомогою акумуляції. Такий підхід дозволить встановити

відповідність між діючим та прогнозним значенням потужності у точці генерації, сформувати графік навантаження для традиційних електричних станцій без необхідності додаткового їх маневрування для компенсацій електростанцій на відновлювальних джерелах енергії. Окрім того, результати досліджень допоможуть збільшити точність розрахунків вартості електричної енергії у точці генерації від систем акумулювання. Розроблена методика вибору конфігурації систем акумуляції дозволяє визначити мінімально необхідну ємність накопичувачів енергії та їх потужність, що забезпечить мінімізацію вартості устаткування. Запропонований алгоритм управління розподіленою системою акумулювання дозволяє вирішити задачу розподіленого балансування, а також враховує можливість залучення активних споживачів та енергетичного ринку до процесу балансування.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені:

- у ТОВ «ЛЕО» для розрахунку мінімально необхідного об'єму систем накопичення енергії, що будуть рекомендовані для забезпечення заявлених графіків генерації електричних станцій на ВДЕ які працюють за зеленим тарифом;

- у навчальному процесі кафедри електричних станцій Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” для студентів спеціальностей 141 спеціальності за спеціалізаціями: 141-01 «Електричні станції» та 141-05 «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» під час викладання курсів лекцій з дисциплін «Електрична частина станцій та підстанцій», «АСУТП станцій та підстанцій», «Системи відновлюваної енергетики та вторинні енергоресурси», під час написання дипломних проєктів, випускних кваліфікаційних робіт.

Дисертація виконана згідно планів наукових досліджень кафедр електричних станцій та загальної електротехніки Національного технічного

університету «Харківський політехнічний інститут» у відповідності до договору «Методи удосконалення електроенергетичних систем» (ДР № 0116U000885).

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, віртуальні електричні станції, системи акумуляції, регресійний аналіз, математичне моделювання, інтелектуальні мережі.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1) Федорчук С.О. Використання систем акумуляції для балансування електричних станцій на ВДЕ/ С.О. Федорчук, І.А. Немировський, А.В. Івахнов // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків: ХДТУСГ, 2018. – № 196, Тем. вип.: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України – С. 21-23

2) Федорчук С.О. Моделювання системи накопичення електроенергії як високоманевреної потужності з застосуванням в різних вузлах енергосистеми / А.В. Івахнов, О.П. Лазуренко, С.О. Федорчук // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Технічні науки. – Харків: ХДТУСГ, 2018. . – № 195, Тем. вип.: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 40-43.

3) Федорчук С. О. Оцінка можливості використання гідропотенціалу очисних споруд для генерації електричної енергії / С. О. Федорчук, А. М. Терещенко, О. С. Головешко. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.:НТУ «ХПІ» – 2018. – №10 (1286). – С. 14–18.

4) Федорчук С.О. Системи акумулювання електроенергії, аналіз можливостей та їх поєднання для застосування в енергосистемі / А.В. Івахнов, О.П. Лазуренко, С.О. Федорчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.:НТУ «ХПІ» – 2018. – № 10 (1286). – С. 53-60.

5) Федорчук С. О. Використання акумуляції енергії для оптимізації роботи відновлювальних джерел енергії / С.О. Федорчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.:НТУ «ХПІ», 2017 - № 31 (1253). – С. 59–62.

6) Федорчук С.О. Моделювання гібридної системи генерації на відновлювальних джерелах енергії для аналізу енергопостачання споживачів / С.О. Федорчук, І.А. Немировський // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків: ХДТУСГ, 2017. – № 187 - С. 48-50.

7) Федорчук С.О. Використання концепції інтелектуальних мереж в енергосистемі України / С.О. Федорчук, І.А. Неміровський // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – №176 - С. 26-28

8) Fedorchuk S. The Optimization of a Complete Set of Accumulating Devices Based on The Criterion of The Minimum Cost of Electricity With RES / Danylchenko D., Fedorchuk S., Ivakhnov A., Bulhakov O. // 2018 IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress (UKRSYW) – 68 - 74 pp.

9) Федорчук С. О. Використання концепції віртуальних електричних станцій для забезпечення заявлених графіків генерації / С. О. Федорчук // Sciences of Europe. – Прага, 2018. –Том1, №39. – С. 67–70.

10) Федорчук С. О. Методология выбора конфигурации системы аккумуляции для резервирования возобновляемых источников энергии при условии минимизации удельной стоимости балансирования: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції [“Експериментальні та теоретичні дослідження в сучасних науках”], (Суми, 2018 р.) / ГО «Європейська наукова платформа». - Обухів: Друкарня ФОП Гуляєва В.М., 2018. – Т.1. – С. 45-50.

11) Федорчук С.О. Оптимизация режимов работы электрических станций на возобновляемых источниках энергии с помощью резервирования мощности / С. О. Федорчук, І. А. Неміровський // Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» – Ч. 2. – 2017. - С. 245.

12) Федорчук С.О. Моделирование распределенных энергетических систем на базе возобновляемых источников энергии. / С. О. Федорчук // Энергетический менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 25-27 квітня 2017 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 – С. 136-138.

13) Федорчук С. О. Використання концепції Smart grid для оптимізації режимів роботи електричних станцій / С. О. Федорчук, І. А. Неміровський // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», – Ч. 2, 2016, С. 184.

ABSTRACT

Fedorchuk S.O. Providing the declared schedules of generation of renewable energy sources based on the concept of virtual power plants. – Manuscripts.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.14.02 - Electric power stations, networks and systems (141 - Power engineering, electrical engineering and electromechanics). – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

Annotation content. The dissertation is devoted to solving the actual scientific and applied problem in the providing the stated schedules of power generation at renewable energy sources (RES) through the use of storage systems and the concept of virtual power plants.

According to the legislation of Ukraine, the Guaranteed Buyer must purchase all energy from renewable energy producers operating under the Green Tariff. The peculiarity of the operating modes of power plants on renewable sources is almost a direct dependence on weather conditions, which leads to deviations of the power value at the points of generation from the declared values. Therefore, there is a need to compensate for emerging imbalances.

Using the concept of virtual power plants that combine RES, active consumers and storage systems into a single station with a common control system, it is possible to reduce imbalances at the generation point. This requires the creation of methods for selecting the optimal layout of the accumulation systems; control systems algorithms for virtual power plants and distributed storage systems; recommendations for their application to power grids that are just beginning to transition from traditional to intelligent and have a lack of maneuverability.

The development of technical measures to ensure the declared schedules of solar power plants (SPP) and wind power plants (WPP) will allow them to be integrated into the generation schedule as base stations. This will make it possible to fulfill the obligations of all participants of the process and not violate the planned operating modes of other stations.

The purpose and tasks of the study. The purpose of the study is to provide the stated schedules of power generation at the generation site of renewable energy sources through the use of storage systems and the concept of virtual power plants.

To achieve the goal, the research objectives are defined:

- to analyze the basic methods and means of providing the schedules of power outputs of renewable energy sources in Ukraine and the world and the factors that influence them;
- to develop a mathematical model for the study of operating modes of hybrid power plants based on solar and wind power plants and to check the adequacy of the developed mathematical model;
- clarify the methodology for calculating the cost of electricity from storage systems at the generation site, taking into account losses in energy transmission and conversion;
- improve the method of optimization of the configuration of accumulation systems for balancing the generation of SES and WPP, while minimizing the specific cost of electricity;
- carry out computer simulation of the operation of renewable energy power plants based on the weather data of the selected administrative district of Ukraine in order to determine the required configuration of the accumulation system based on the developed methodology;
- to develop a computer model of a virtual power plant that combines advanced mathematical models of SES and WPP power generation, computer models

of energy storage systems, imitation of active consumers and the energy market, as well as elements of hardware and computer modeling.

– to develop an algorithm of operation of the information and control system of the virtual power plant, based on the specified method of calculating the cost of electricity, and to test it on a computer model of the virtual power plant.

– explore the possibility of applying the concept of virtual power plants to provide daily generation schedules, taking into account the requirements of the Guaranteed Buyer.

The object of research is the electromagnetic processes in grids with power plants based on renewable energy sources.

Subject of research – electrical and information parameters of modes of equipment of power plants on renewable energy sources.

Scientific novelty:

1) The mathematical model of the virtual power plant has been further developed, which differs from the existing ones by adding elements for communication with the real programmable logic controller OVEN 110-60 and based on the regression analysis the additional coefficient of the ratio of incoming weather conditions and the resulting power is taken into account the real characteristics of the equipment, which allowed to apply hardware and software modeling, to increase the accuracy of the calculation of the output active power of solar panels at 5% and conduct simulations of wind power station at wind speeds greater than nominal.

2) The method of calculating the cost of electricity, which is used to provide daily schedules of generation of RES on the basis of accumulation within one virtual power station, which differs from the known costs related to the location, installation and operation of additional equipment, which improves the accuracy of calculations, was further developed. and to increase the energy efficiency of such systems by utilizing their most relevant elements.

3) It is scientifically and technically grounded to use the concept of virtual power plants for providing daily schedules of generation of solar and wind power plants in the conditions of the energy market of Ukraine, which will allow to ensure the functioning of the Guaranteed Buyer mechanism with minimal use of additional maneuvering capacities.

Practical value:

The practical value of the work lies in the fact that methods of optimization of modes of operation of power plants on renewable energy sources by means of accumulation are determined on the basis of the performed researches. This approach will allow to establish the correspondence between the current and the predicted value of power at the point of generation, to form a schedule of load for traditional power plants without the need for additional maneuvering for compensation of power plants on renewable energy sources. In addition, research findings will help to increase the accuracy of electricity cost calculations at the point of generation from storage systems. The developed method of choosing the configuration of accumulation systems allows to determine the minimum required capacity of energy storage and their capacity, which will minimize the cost of equipment. The proposed algorithm for managing a distributed accumulation system allows to solve the problem of distributed balancing, and also takes into account the possibility of involving active consumers and the energy market in the balancing process.

The results of the dissertation work were introduced:

- at LEO LLC to calculate the minimum required volume of energy storage systems that will be recommended to provide the stated generation schedules of power plants than work based on green tariff;

- in the educational process of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" for students of specialties 141 specialties in specialization: 141-01 "Power Plants" and 141-05 "Energy Management and Energy Efficient

Technologies" during the teaching of lectures on disciplines "Electrical part of stations and substations ", " ACTSP of stations and substations ", " Renewable energy systems and secondary energy resources ", during writing of diploma projects, final qualification works.

The dissertation is executed according to the plans of scientific researches of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Department of Power stations and general electrical engineering in accordance with the economic agreement « Methods of improvement of power systems» (state registration number - 0116U000885).

Keywords: renewables, virtual power plants, storage systems, regression analysis, mathematical modeling, smart grids.

List of publications by the subject on the topic of the dissertation:

works, in which the main scientific results of the dissertation are published:

1) Fedorchuk S.O. The use of accumulation systems for balancing power plants at RES / S. O. Fedorchuk, I.A. Nemirovsky, A.V. Ivakhnov // Bulletin of KNTUA them. Petra Vasilenko. Engineering sciences. - Kharkiv: KNTUA - 2018. - No. 196, Theme. issue: Problems of energy supply and energy saving in the agroindustrial complex of Ukraine. - P. 21-23

2) Fedorchuk S.O. Modeling of the system of accumulation of electricity as high maneuvered power with application in different nodes of the power system / SO. Fedorchuk, OP Lazurenko, A.V. Ivakhnov // Bulletin of KNTUA them. Petra Vasilenko. Engineering sciences. - Kharkiv: KNTUA - 2018. - No. 195, Tem. Issue: Problems of energy supply and energy saving in agroindustrial complex of Ukraine. - P. 40-43.

3) Fedorchuk S.O. Estimation of the Possibility of Using the Hydropotential of Wastewater Treatment Plants for Electricity Generation / S.O. Fedorchuk, A.M. Tereshchenko, O.S. Goloveshko. // Bulletin of NTU "KPI". Series: Energy:

Reliability and Energy Efficiency. - Kharkiv: NTU "KhPI" - 2018. - No.10 (1286). - P. 14–18.

4) Fedorchuk S.O. Systems of electricity storage, analysis of possibilities and their combination for use in the power system / S.O. Fedorchuk, O.P. Lazurenko, A.V. Ivakhnov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency. - Kharkiv: NTU "KPI" - 2018. - No.10 (1286). - P. 53-60

5) Fedorchuk S.O. Use of energy accumulation for optimization of work of renewable energy sources / S.O. Fedorchuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency. - Kharkiv: NTU "KPI" - 2017 – No. 31 (1253). - P. 59–62.

6) Fedorchuk S.O. Simulation of a hybrid system of generation on renewable energy sources for the analysis of energy supply of consumers / S.O. Fedorchuk, I.A. Nemirovsky // Bulletin of KNTUA them. Petra Vasilenko. Engineering sciences. - Kharkiv: KNTUA - 2017. - No. 187 - P. 48-50.

7) Fedorchuk SO The use of the concept of intelligent networks in the grid of Ukraine/ S.O. Fedorchuk, I.A. Nemirovsky // Bulletin of KNTUA them. Petra Vasilenko. Engineering sciences. - Kharkiv: KNTUA - 2016. - No. 176 - P. 26-28.

8) Fedorchuk S. The Optimization of a Complete Set of Accumulating Devices Based on The Criterion of The Minimum Cost of Electricity With RES / Danylchenko D., Fedorchuk S., Ivakhnov A., Bulhakov O. // 2018 IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress (UKRSYW) – P. 68 - 74.

9) Fedorchuk S.O. The use of the concept of virtual power plants to provide the declared generation schedules / S.O. Fedorchuk // Sciences of Europe. - Prague, 2018. - Volume 1, No. 39. - P. 67–70.

10) Fedorchuk SO Methodology of choosing the configuration of the accumulation system for redundant energy sources reservation, subject to minimization

of the specific cost of balancing: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference [“Experimental and Theoretical Research in Modern Sciences”], (Sumy, 2018) / European Science Platform NGO. - Obukhov: Printing House Gulyaev VM, 2018. - Vol.1. – P. 45-50.

11) Fedorchuk S.O. Optimization of modes of operation of power plants on renewable energy sources with the help of power reservation / S.O. Fedorchuk, I.A. Nemirovsky // Abstracts of the XXV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies: Science, Technology, Technology, Education, Health ”- Part 2. - 2017. - P. 245.

12) Fedorchuk S.O. Modeling of distributed energy systems based on renewable energy sources. / S.O. Fedorchuk // Energy management: the state and prospects of development. Collection of Scientific Papers of the IV International Scientific-Technical and Educational-Methodological Conference in Kyiv, April 25-27, 2017 - Kyiv, KPI them. Igor Sikorsky, 2017 - P. 136-138

13) Fedorchuk S.O. Use of the Smart grid concept for optimization of operating modes of power plants / S.O. Fedorchuk, I.A. Nemirovsky // Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Information Technologies: Science, Technology, Technology, Education, Health ”- Part 2. - 2016. - P. 245.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	12
1.1 Існуючі та заплановані об'єми встановлених потужностей ВДЕ в Україні та світі.....	12
1.2 Концепція гарантованого покупця для роботи з ВДЕ	17
1.3 Положення Закону про «Ринок електричної енергії України», щодо балансування електроенергії.....	19
1.4 Наявність резервних потужностей в Україні	22
1.5 Порівняння особливостей систем накопичення електричної енергії	25
1.6 Особливості основних видів електричних станцій на відновлюваних джерелах енергії	33
1.7 Комп'ютерне моделювання залежних від погоди відновлюваних електричних станцій	36
1.8 Особливості централізованих та розподілених мереж	40
1.8 Методології по визначенню необхідної ємності накопичувачів електричної енергії.....	46
1.9 Регіон для дослідження	47
1.10 Висновки до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2. SMART GRID ТА МЕТОДИКИ ЇХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ	50

2.1 Вимоги до централізованих та розподілених електричних мереж	50
2.2 Загальні положення концепції smart grid.....	53
2.3 Архітектурна модель інтелектуальних мереж. SGAM	57
2.4 Висновки до розділу 2	70
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ВДЕ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ.....	72
3.1 Вибір об'єму накопичення в залежності від питомих показників та типу використання	74
3.2 Оцінка необхідного об'єму накопичення в залежності від результатів попереднього комп'ютерного моделювання	76
3.3 Розрахунок вартості електричної енергії для балансування	85
3.4 Визначення необхідної ємності для накопичувачів.	90
3.5 Визначення тарифу проектної електричної станції.....	97
3.6 Розрахунок економічних аспектів використання системи акумуляції.....	98
3.7 Розрахунок для перетворюючого обладнання	100
3.8 Розрахунок передачі електричної енергії від СА до споживачів	101
3.9 Розрахунок системи управління	103
3.10 Вибір території розміщення.....	103
3.11 Висновки до розділу 3	109
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІРТУАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ.....	111

	4
4.1 Математичне моделювання	111
4.2 Визначення вхідних даних моделі	112
4.3 Вибір основних вимог до моделі.....	118
4.4 Вибір варіанту виконання моделі.....	119
4.5 Розробка алгоритму управління	133
4.6 Висновки до розділу 4	145
РОЗДІЛ 5. АПРОБАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ.....	146
5.1 Вибір та розробка параметрів для апробації роботи алгоритму	146
5.2 Сценарії тестування алгоритму управління	149
5.3 Результати апробації алгоритму управління.....	149
5.4 Висновки до розділу 5	159
ВИСНОВКИ.....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	162
ДОДАТОК А.....	180
ДОДАТОК Б	183