

Донбаська національна академія будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САВЧЕНКО НАТАЛЯ ПАНАСІВНА

УДК 621.311

**ДИСЕРТАЦІЯ
РЕГУЛЮВАННЯ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА
ДОПОМОГОЮ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА З КІНЕТИЧНИМ
ЕНЕРГОНАКОПИЧУВАЧЕМ**

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.

_____ Савченко Н.П.

Науковий керівник:
Шевченко Сергій Юрійович
доктор технічних наук, професор

Краматорськ – 2018

АНОТАЦІЯ

Савченко Н.П. Регулювання графіка навантаження електричних мереж за допомогою споживача-регулятора з кінетичним енергонакопичувачем. – 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). – Донбаська національна академія будівництва і архітектури МОН України, Краматорськ, 2018. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України, Харків, 2018.

Зміст анотації. Дисертація присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної проблеми регулювання графіків навантаження електричних мереж безпосередньо у споживача з впровадженням системи зберігання енергії, що може бути використана також для симетрування навантаження.

Актуальність теми дисертаційної роботи полягає у наступному, ефективність роботи Об'єднаної електроенергетичної системи країни повністю залежить від забезпечення балансу між спожитою й виробленою електричними станціями енергією. Режими роботи енергосистеми країни наочно представляються графіками електричного навантаження (ГЕН). Оскільки електросистема несе значні додаткові витрати, викликані нерівномірністю графіка електричного навантаження то питання регулювання ГЕН є актуальними.

Покриття піків навантаження енергосистеми на сьогоднішній час загалом забезпечувалося здебільшого потужностями ГЕС, ТЕС та ТЕЦ, це пов'язане з технічним станом і структурою потужностей Об'єднаної електроенергетичної системи країни. Використання ТЕС в якості регулюючих потужностей, обумовлює необхідність тримати їх в режимах холодного та гарячого резерву, що призводить до використання їх в режимах

з великою витратою палива. Також, останнім часом маневреність енергоблоків ТЕС значно знижена внаслідок зносу і старіння обладнання та якості палива на якому працюють енергоблоки. Тому все більше уваги приділяється питанням регулювання ГЕН за рахунок споживачів-регуляторів.

Складовими ГЕН енергосистеми є ГЕН споживачів, які здебільшого є нерівномірними, та мають характерні пікові, напівпікові та базові зони споживання. Регулювання параметрів графіків навантаження споживачів дозволить використовувати їх в якості регуляторів навантаження (споживачів-регуляторів) електричних мереж, а це в свою чергу призведе до зменшення використання блоків ТЕС в маневрених режимах, до економії паливних ресурсів на ТЕС і підвищенню стабільності та надійності в роботі електричних мереж.

Одним з перспективних методів регулювання ГЕН є перенос навантаження споживача з пікової зони у напівпікову та базову. Це стає можливим за рахунок впровадження систем зберігання енергії, які можуть бути встановлені як у електричних мережах високої напруги так і у мережах низької напруги. Таким чином, встановлення систем зберігання енергії безпосередньо у систему електропостачання споживача-регулятора дозволить змінювати параметри графіків електричного навантаження. При цьому багато уваги приділяється складу системи зберігання електроенергії, а саме основному її елементу – накопичувачу енергії. Серед великої кількості накопичувачів енергії використання кінетичних енергонакопичувачів має ряд переваг, а саме високу екологічність, простоту технічного обслуговування, масштабованість, великий термін служби (тобто велика кількість циклів зарядки - розрядки), швидкий час реакції.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка методу регулювання реальних графіків навантаження споживачів-регуляторів шляхом обґрунтування режимів роботи і параметрів механічних накопичувачів енергії з урахуванням компенсації ризиків, що виникають при їх використанні.

Для досягнення мети у роботі поставлені наступні задачі:

- виконати аналіз існуючих методів регулювання графіків навантажень;
- провести аналіз графіків навантаження адміністративної будівлі і виявити загальні їх загальні характеристики та визначити закон розподілення складових ГЕН;
- розробити спосіб симетрування навантаження об'єкта з КЕН для підвищення показників якості електроенергії;
- розробити математичну модель процесу регулювання ГЕН на основі введення в систему електропостачання будівлі КЕН;
- визначити оптимальні параметри КЕН згідно його режимів роботи і навантаження будівлі;
- виконати експериментальні дослідження процесу накопичення і видачі енергії КЕН у систему електропостачання.

Об'єкт дослідження - процеси у системі електропостачання споживача – регулятора з кінетичним енергонакопичувачем.

Предмет дослідження - параметри та характеристики графіка навантаження системи електропостачання з використанням КЕН.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено метод вирівнювання ГЕН об'єкта з урахуванням компенсації ризиків, що відрізняється тим що в якості споживача - регулятора використовується система електропостачання адміністративної будівлі з КЕН, що дає можливість отримати необхідні параметри ГЕН.

2. Науково обґрунтовано конструкцію маховика для використання у складі КЕН, що відрізняється від існуючих тим що має змінний момент інерції та дисбалансні вантажі, що дозволило зменшити енерговитрати в початковий період обертання маховика і підвищити плавність обертання в робочому режимі.

3. Отримав подальший розвиток метод симетрування навантаження в мережі 0,4 кВ, який відрізняється тим, що симетрування виконується за рахунок використання споживача-регулятора з КЕН, що дозволило

підвищити якість електроенергії за рахунок відсутності комутацій в системі електропостачання.

4. Отримала подальший розвиток математична модель обміну енергії системи електропостачання будівлі з кінетичним енергонакопичувачем, що відрізняється від існуючих врахуванням конструкції маховика КЕН, що дає можливість підвищити точність розрахунків енергії.

Практичне значення отриманих результатів для електроенергетичної галузі полягає в розробці методики регулювання графіків електронавантаження електричної мережі за допомогою споживачів - регуляторів, які представляють собою адміністративні будівлі з підключенням КЕН у їх систему електропостачання.

Запропоновано спосіб симетрування навантаження у системі електропостачання споживача-регулятора з КЕН, що дозволяє підвищити якість електричної енергії.

Підтверджено доцільність використання у складі КЕН маховика з змінним моментом інерції та дисбалансними вантажами (Патент України на корисну модель №126345).

Результати дисертаційної роботи впроваджені у якості науково-методичних рекомендацій ПрАТ СКМЗ (м.Краматорськ), ТОВ «ЕВДА-ЕНЕРГО» (м.Одеса), а також використовуються в навчальному процесі ДонНАБА під час курсового проектування та підготовки студентів будівничих спеціальностей.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі машинобудування Донбаської національної академії будівництва і архітектури у рамках науково-дослідної роботи за темою «Розробка науково-методичних та практичних підходів до вдосконалення ресурсо- та енергозбереження на об'єктах будівництва і міського господарства» (№ ДР 0115U001697).

Ключові слова: електрична мережа, графік електронавантаження, споживач-регулятор, система електропостачання адміністративної будівлі,

система зберігання електричної енергії, кінетичний енергонакопичувач, симетрування навантаження.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Savchenko N. A. Managing the load schedule of the administrative building taking into account emerging risks when connecting the kinetic energy storage to the power supply system / S. Yu. Shevchenko, N. A. Savchenko, A. V. Tretjak // Електротехніка і електромеханіка. – 2017. – №6. – С. 69 – 73. doi: 10.20998/2074-272X.2017.6.11.

2. Savchenko N. Analysis of risks while connecting to the power supply system of the administrative building of the kinetic energy storage unit for the purpose of load regulation / S. Shevchenko, N. Savchenko // Вісник тернопільського національного технічного університету. – 2017. – 3(87). – С. 117 – 126.

3. Савченко Н.А. Маховик переменного момента инерции с дисбалансными грузами / Н.А. Савченко, А.В. Третьяк, С.Ю. Шевченко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – 2018. – том 29 (68) № 1– С. 115 –118.

4. Савченко Н.А. Система симметрирования режимов работы трехфазной четырехпроводной электрической сети административного здания с кинетическим энергонакопителем / Н.А. Савченко, А.В. Третьяк, С.Ю. Шевченко // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2018. – №70. – С. 131 –138.

5. Савченко Н.П. Математична модель системи електропостачання адміністративної будівлі з кінетичним енергонакопичувачем / Н.П. Савченко, С.Ю. Шевченко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2018. – №1/2018(41). – С. 47– 52. doi: 10.30929/2072-2052.2018.1.41.

праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Савченко Н.А. Методи краткосрочного прогнозирования нагрузки в энергетике. Перспективы развития / Н.А. Савченко, В.Е. Бондаренко //

Важке машинобудування, проблеми та перспективи розвитку: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф., Краматорск: ДГМА, 2 –5 червня 2008р. – С.115.

7. Пат. на корисну модель 122232 Україна МПК(2017/01) H02J 13/00. Пристрій керування режимами роботи шахтних гідроакumuлюючих електростанцій / Гаврюков А.В., Шевченко С.Ю., Савченко Н.П., Трет'як А.В.; заявник та патентовласник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – № u201707604; заявл. 18.07.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24. – 4 с.іл

8. Пат. на корисну модель 126345 Україна МПК(2018/01) F16H 33/02, F03G 3/08. Маховик зі змінним моментом інерції та дисбалансними вантажами / Савченко Н.П., Трет'як А.В., Гаврюков А.В., Шевченко С.Ю.; заявник та патентовласник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – № u201801568; заявл. 16.02.2018. опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11. – 4 с.іл.

праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9. Савченко Н.А. Методы оптимизации энергетических систем / Н.А. Савченко, О.В. Субботин // Вестник ДГМА – 2006. – №2 – С. 190 – 194.

10. Савченко Н.А. Определение входных параметров информационной базы для прогнозирования нагрузки в распределительных сетях 6-10 кВ / Н.А. Савченко, С.Ю. Шевченко // Электрические сети и системы. – 2010. – №3. – С. 9 –12.

ABSTRACT

Savchenko N. Adjustment of the schedule of loading of electric networks with the help of the consumer-controller with the kinetic power supply. - 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). – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, MES of Ukraine, Kramatorsk, 2018. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", MES of Ukraine, Kharkiv, 2018.

Annotation content. The dissertation is devoted to solving an important scientific and applied problem of regulating the loading schedules of electric networks directly to the consumer with the introduction of energy storage system, which can also be used to simulate the load.

The urgency of the topic of dissertation work is as follows, the efficiency of the work of the United Electric Power System of the country depends entirely on the provision of a balance between the energy consumed and produced by the electric power stations. Operating modes of the country's power system are clearly represented by electrical load schedules (ELS). Since the electro-system carries significant additional costs due to the unevenness of the schedule of electric loading, the issue of regulation of ELS is relevant.

Today, the coverage of the grid load of the grid is mainly due to the capacity of the HPP, TPP and CHPP, due to the technical state and structure of the power of the United Power System of the country. The use of TPPs as regulatory capacities makes it necessary to keep them in cold and hot reserves, which results in their use in high fuel consumption. Also, lately, the maneuverability of TPPs has been significantly reduced due to the wear and aging of equipment and fuel quality at

which power units operate. Therefore, more and more attention is paid to the issues of regulating the Genes at the expense of consumer regulators.

The components of the ELS of the grid are the consumers' ELS, which are mostly uneven and have characteristic peak, half-baked and base consumption zones. Regulation of the parameters of the consumer load schedules will allow them to be used as regulators of the load (consumers-regulators) of electric networks, which in turn will reduce the use of TPPs in maneuvered modes, to save fuel resources on the TPPs and increase the stability and reliability of electrical networks .

One of the most promising methods of regulating ELS is the shift of the consumer's load from the peak to the semi- and baseline. This becomes possible due to the introduction of energy storage systems that can be installed both in high voltage electrical networks and in low voltage networks. Thus, the installation of energy storage systems directly into the power supply system of the consumer-regulator will allow to change the parameters of the schedules of electric load. At the same time, much attention is paid to the composition of the system of storage of electricity, and in particular its main element - the energy storage. Among the large number of energy storage devices, the use of kinetic energy storage devices has several advantages, namely high ecological compatibility, ease of maintenance, scalability, long service life (ie large number of charge cycles - detentions), fast reaction time.

The purpose and tasks of the study. The purpose of the work is to develop a method for regulating the real load schedules of consumer regulators by substantiating the operating modes and parameters of mechanical energy storage devices, taking into account the compensation of risks arising from their use.

To achieve the goal in the work set the following tasks:

- to carry out an analysis of existing methods of adjusting load schedules;
- analyze the administrative workload schedules and identify general characteristics and determine the law of distribution of the components of the ELS;

- develop a method for balancing the load of an object from the KES to increase the quality of electricity;
- to develop a mathematical model of the process of regulation of ELS on the basis of the introduction of the KES building power supply system;
- to determine the optimal parameters of the KES according to its modes of work and load of the building;
- to carry out experimental researches on the process of accumulation and extraction of KES energy in the electricity supply system.

The object of the study is the processes in the electricity supply system of the consumer -regulator with a kinetic energy storage device.

Subject of research - parameters and characteristics of the load schedule of the power supply system using KES.

Scientific novelty:

1. For the first time, the method of aligning the object's gene with the consideration of risk compensation is developed, which is different in that the power system of the administrative building of the KES is used as the regulator's consumer, enabling the necessary parameters of the ELS to be obtained.
2. The design of the flywheel for use in the KES is different from the existing one, which has a variable moment of inertia and unbalanced cargoes, which allowed to reduce energy consumption in the initial period of rotation of the flywheel and improve the smooth rotation in working mode.
3. The method of load balancing in the 0.4 kV network has been further developed, which differs by the fact that the symmetry is performed at the expense of the use of the consumer regulator from KES, which allowed to improve the quality of electricity due to the lack of switching in the power supply system.
4. The mathematical model of the energy exchange of the power supply system of a building with kinetic energy storage has been further developed, which differs from the existing ones taking into account the design of the flywheel KES, which makes it possible to improve the accuracy of energy calculations.

Practical value obtained for the electric power industry is to develop a method for regulating the schedules of the electrical loading of the electrical network with the help of consumers - regulators, which are administrative buildings with the KES plugging into their electricity supply system.

The method of load balancing in the power supply system of the consumer-regulator from KES is proposed, which allows to improve the quality of electric energy.

The appropriateness of using in the KES a flywheel with a variable torque of inertia and imbalance loads (the Patent of Ukraine to the utility model № 126345).

The results of the dissertation work are implemented as scientific and methodical recommendations of the PJSC SKMZ (Kramatorsk), LLC "Evda-Energo" (Odessa), and also used in the educational process of DonNACEA during the course designing and training of students of building specialties.

The dissertation was performed at the Department of Mechanical Engineering of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture within the framework of the research work on the theme "Development of scientific and methodological and practical approaches to improving resource and energy conservation at construction sites and municipal economy" (№ ДР 0115U001697).

Keywords: electrical network, schedule of electrical loading, consumer regulator, power supply system of the administrative building, storage system of electric energy, kinetic energy storage, load balancing.

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. Savchenko N.A. Managing the load schedule of the administrative building taking into account emerging risks when connecting the kinetic energy storage to the power supply system / S. Yu. Shevchenko, N. A. Savchenko, A. V. Tretjak // *Elektrotehnika i elektromekhanika.*– 2017. №6. – pp. 69 – 73. doi: 10.20998/2074-272X.2017.6.11.

2. Savchenko N. Analysis of risks while connecting to the power supply system of the administrative building of the kinetic energy storage unit for the purpose of load regulation / S. Shevchenko, N. Savchenko // Visnyk ternopil's'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. – 2017. – 3(87). – pp. 117-126.

3. Savchenko N.A. Makhovyk peremennoho momenta ynertsyy s dysbalansnyimi hruzamy / N.A. Savchenko, A.V. Tret'yak, S.Yu. Shevchenko // Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: Tekhnichni nauky». – 2018. – tom 29 (68) № 1– pp. 115 – 118.

4. Savchenko N.A. Systema symmetryrovanyia rezhymov raboty trekhfaznoy chetyrekhprovodnoy élektrycheskoy sety admynstratyvnoho zdanyia s kynetycheskym énerhonakopytelem / N.A. Savchenko, A.V. Tret'yak, S.Yu. Shevchenko // Visnyk odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. – 2018. – №70. – pp. 131 – 138.

5. Savchenko N.P. Matematychna model' systemy elektropostachannia administratyvnoyi budivli z kinetychnym enerhonakopychuvachem / N.P. Savchenko, S.Yu. Shevchenko // Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy. – 2018. – №1/2018(41). – pp. 47–52. doi: 10.30929/2072-2052.2018.1.41.

works certifying the testing of the dissertation materials:

6. Savchenko N.A. Metody kratkosrochnoho prohnozyrovanyia nahruzky v énerhetyke. Perspektyvy rozvytyia / N.A. Savchenko, V.E. Bondarenko // Vazhke mashynobuduvannia, problemy ta perspektyvy rozvytku: materialy VI Mizhnar. nauk.-tekhn. konf., Kramatorsk:DGMA, 2 –5 chervnya 2008r. – S.115.

7. Pat. na korysnu model 122232 Ukrayina MPK(2017/01) N02J 13/00. Prystriy keruvannia rezhymamy roboty shakhtnykh hidroakumulyuyuchykh elektrostantsiy / Gavryukov A.V., Shevchenko S.Yu., Savchenko N.P., Tret'yak A.V.; zayavnyk ta patentovlasnyk Donbas'ka natsional'na akademiya budivnytstva

i arkhitektury. – № u201707604; zayavl. 18.07.2017; opubl. 26.12.2017, byul. № 24. – 4 p.il

8. Pat. na korysnostey model' 126345 Ukrayina MPK (2018/01) F16N 33/02, F03G 3/08. Makhovyk zi zminnim momentom inertsii ta disbalansnimi vantazh / Savchenko N.P., Tret'yak A.V., Gavryukov A.V., Shevchenko S.Yu. .; zayavnyk ta patentovlasnik Donbas'ka natsional'na akademiya budivnytstva i arkhitektury. - № u201801568; zayavl. 16.02.2018. opubl. 11.06.2018, byul. № 11. – 4 p.il.

works that additionally reflect the scientific results of the dissertation:

9. Savchenko N.A. Metody optimizatsii energeticheskikh sistem / N.A. Savchenko, O.V. Subbotin // Vestnik DGMA – 2006. – №2 – pp. 190 – 194.

10. Savchenko N.A. Opredeleniye vkhodnykh parametrov iformatsionnoy bazy dlya prognozirovaniya nagruzki v raspredelitel'nykh setyakh 6-10 kV / N.A. Savchenko, S.Yu. Shevchenko // Elektricheskiye seti i sistemy. – 2010. – №3. – pp. 9 –12.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. НЕРІВНОМІРНІСТЬ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА МЕТОДИ ЇЇ РЕГУЛЮВАННЯ.....	12
1.1 Процес виробництва та розподілення електроенергії.....	12
1.2 Методи регулювання графіків електронавантаження.....	16
1.3 Використання потужностей ТЕС для покриття навантаження та вплив нерівномірності графіків навантаження на витрати палива при роботі ТЕС.....	21
1.4 Споживачі - регулятори як ефективний метод регулювання графіків навантаження.....	26
1.5 Методи симетрування навантаження і показники якості електроенергії.....	29
1.6 Застосування акумулюючих пристроїв в системі електропостачання споживача-регулятора	34
1.7 Класифікація і методи оцінки ризиків в енергетиці.....	39
Висновки по розділу 1.....	42
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ І СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ КЕН В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧА-РЕГУЛЯТОРА.....	44
2.1 Загальні відомості про споживача-регулятора і обґрунтування вибору накопичувача енергії для нього.....	44
2.2 Розрахунок параметрів кінетичного накопичувача енергії для покриття навантаження споживача-регулятора та його математичне моделювання.....	49
2.3 Розробка схеми системи електропостачання споживача - регулятора з КЕН.....	55

2.4 Аналіз ризиків застосування акумулюючих пристроїв при регулюванні графіків навантаження.....	58
Висновки по розділу 2.....	68
РОЗДІЛ 3. РЕГУЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ЗА РАХУНОК СПОЖИВАЧА - РЕГУЛЯТОРА	
3 КЕН.....	70
3.1 Аналіз основних характеристик ГЕН споживача-регулятора.....	70
3.2 Визначення закону розподілу випадкової складової ГЕН.....	81
3.3 Аналіз параметрів якості електроенергії споживача-регулятора.....	85
3.4 Моделювання процесів заряду і розряду КЕН при використанні в його складі різних типів двигунів.....	90
3.4.1 Математичний опис процесів функціонування КЕН.....	90
3.4.2 Математична модель КЕН на базі ДПС.....	94
3.4.3 Математична модель КЕН на базі АД.....	100
3.4.4 Порівняльний аналіз моделей та вибір оптимальної.....	105
3.5 Симетрування роботи трифазної чотирьохпровідної електричної мережі споживача-регулятора підключенням КЕН.....	106
3.6 Математичне моделювання ГЕН споживача-регулятора при підключенні КЕН в його електричну мережу.....	108
3.7 Економічне обґрунтування використання КЕН у системі електропостачання адміністративної будівлі з метою регулювання ГЕН.....	113
Висновки по розділу 3.....	116
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ КЕН НА ПРОЦЕСИ ЗАРЯДУ-РОЗРЯДУ	
4.1 Мета та задачі досліджень.....	118
4.2 Опис експериментальної установки.....	118
4.3 Дослідження впливу конструкції маховика у складі КЕН на акумулювання електричної енергії.....	121

4.4 Дослідження впливу конструкції електродвигуна у складі КЕН на акумулявання електричної енергії.....	127
4.4.1 Методика та проведення експерименту по отриманню розгінних характеристик КЕН з ДПС та обробка отриманих результатів.....	128
4.4.2 Методика та проведення експерименту по отриманню розгінних характеристик КЕН з АД та обробка отриманих результатів	132
Висновки по розділу 4.....	136
ВИСНОВКИ.....	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	140
Додаток А Плани розеткових та освітлювальних мереж будівлі споживача- регулятора	155
Додаток Б Електричне навантаження споживача – регулятора.....	158
Додаток В Акти впровадження дисертаційної роботи.....	160
Додаток Г Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	165