

ӘОЖ 621.311

**Б.К. Уралов\*, Қ.З. Қорабаева, К.Ж. Смагулов, А. Кенесова**

т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
аға оқытушы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
оқытушы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
магистрант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

\*Автор для корреспонденции: uralov-1973.2@mail.ru

## **БЕЛСЕНДІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КЕШЕН ШЕҢБЕРІНДЕ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ МУЛЬТИАГЕНТТІК ТӘСІЛДІ ҚОЛДАНУ**

### **Түйін**

Бұл мақалада электр энергетикасын технологиялық басқару міндеттерінде қолданылатын жасанды интеллект технологияларына аналитикалық шолу берілген. Энергетикалық мәселелерді шешу үшін көп агенттік жүйелерді қолданудың өзектілігі дәлелденді. Белсенді адаптивті желісі бар интеллектуалды энергетикалық жүйе тұжырымдамасы қарастырылуда. Белсенді энергетикалық кешен (БЭК) шеңберінде электр энергетикасы жүйесін басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы келтірілген. Орталықтандырылған басқарудың әзірленген принциптері жинақтаушы құрылғылар мен жаңартылатын көздерді пайдалана отырып, шағын тарату желілері – микрожелілер үшін толық қолданылмайтыны көрсетілген. Мақалада Қазақстандағы белсенді энергетикалық кешен микрожелілер тұжырымдамасының аналогы аясында сипатталған. Интеллектуалды басқарылатын қосылыстың (ИБҚ) қажетті функционалдығы зерттелді, сонымен қатар ИБҚ жұмысының алгоритмі құрылып, функцияларды жүзеге асыратын БЭК таратылған интеллектуалды мультиагентті басқару жүйесі сипатталған. Басқару жүйесін мультиагентті бағдарламалық қамтамасыз ету MATLAB / PSAT көмегімен жұмыс істейді.

**Кілттік сөздер:** электр энергетика, мультиагент, энергетикалық жүйе, микрожелі, генераторлар, математикалық модель.

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта энергетикалық инженерия зерттеушілері электр жүйелеріндегі SmartGrid және MicroGrid технологияларының өзектілігін келесі факторларға байланысты атап өтеді:

- микропроцессорлық басқару жүйелерін дамыту;
- ажратылған генерацияның экономикалық тиімділігі;
- жаңартылатын энергия көздерінің электр энергиясын өндіру әлеуетін өсуі [1].

Әлемдік энергетикалық жүйелердің жаһандық дамуының негізгі бағыттары орталықсыздандыру, декарбонизация және цифрландыру болып табылады [2]. Басқару жүйелері жасанды интеллект әдістерін, атап айтқанда көп агенттік жүйелерді қолданатын болашақ энергетикалық жүйелердің маңызды элементі болып табылады. Зерттеулердің едәуір бөлігі электр энергетикасында интеллектуалды басқару алгоритмдерін қолданудың тиімділігін көрсетеді. Қазіргі уақытта осы тәсілдердің кейбіреулері әзірленіп жатқанымен, өлшеу жүйелерінде, есептеу және коммуникациялық технологияларда айтарлықтай жетілдірулерге байланысты нақты электр желілері үшін әлеуетті қолданбалардың айтарлықтай саны бар [3]. Көп агенттік жүйелер негізінде құрылған интеллектуалды басқару жүйелері бар, бұл жұмыстардың айтарлықтай санымен дәлелденеді.

Жұмыста [4] ірі электр жүйелерінде апатқа қарсы автоматиканы құру үшін Интеллектуалды алгоритмдерді қолдану ұсынылады. Электр желілерін пайдаланудың күрделі және тұрақсыз жағдайларында басқару жүйесі аварияға қарсы мониторингтің берілген алгоритмін сәтті орындайтыны көрсетілген. Басқару жүйесін мультиагентті бағдарламалық қамтамасыз ету MATLAB / PSAT көмегімен жұмыс істейді.

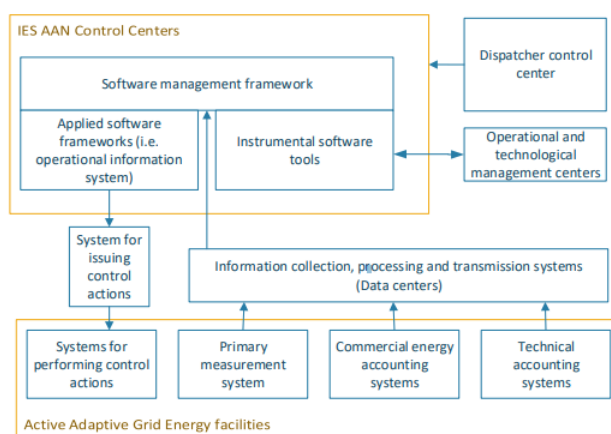
Дереккөзде энергетика саласында қолдануға арналған мультиагенттік тәсілдің жүйелі сипаттамасы келтірілген. Мақалада мультиагенттік тәсілдің тиімділігінің негіздемесі келтірілген, өйткені MAS бағдарламалық модульдері желілік құрылымы бар нақты объектілерге жақсы «қабаттасады».

### Теориялық талдау

Тұжырымдама өзін-өзі диагностикалауытын энергетикалық жүйелерді құру бойынша ғылыми зерттеулердің негізгі бағыттарының бірі біртұтас энергетикалық жүйенің әртүрлі деңгейлері үшін көп агентті интеллектуалды басқару жүйелерін әзірлеу екенін анықтайды[5]. Басқару жүйелерінің әлеуетті мүмкіндіктерін кеңейтетін жасанды интеллект құралдары өзекті болып табылады және нысанның белгісіз математикалық моделі бар нысандарды басқаруға, сондай-ақ кескінді тану, әрекетті жоспарлау және білімді жинақтау процедураларын қосу арқылы олардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [1]. 1-суретте жұмыста ұсынылған IES AAN орталықтандырылған басқару жүйесінің құрылымы көрсетілген. IES AAN нақты уақыт режимінде әртүрлі тұтынушы субъектілерімен және генераторлармен ақпараттық өзара әрекеттесуге арналған. Ақпараттық ағындар иерархиялық құрылымға сәйкес келетін бірыңғай басқару орталығына түсуі керек. Орталықтандырылған негізде құрылған жүйе технологиялық басқару әсерлерін жүзеге асырады, сондай-ақ электр энергиясын коммерциялық және техникалық есепке алу функцияларын орындайды, тарифтерді динамикалық белгілеу және электр энергиясына сұранысты басқару міндеттерін орындайды.

IES AAN орталықтандырылған басқару жүйесінің ақпараттық-технологиялық платформасын қолдана отырып, әртүрлі функцияларды тұтынушылардың желілік түйіндері мен генераторлары арасында сенімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз ете алады. Бұл тәсілдің негізгі мақсаты осы саланы дамытудағы инновациялық серпінді қамтамасыз ету және оны пайдаланудың тиімділігін, сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін Қазақстанның энергетика секторына зияткерлік технологияларды енгізу болып табылады.

IS AAN өзінің дамуы кезінде әлемдежаңартылатын энергия көздері мен микрожелілерді есепке ала отырып, электр желілері мен магистральдық желілерге бағытталған. Сонымен қатар, қазіргі уақытта энергетикада мәлімделген өзектілігіне қарамастан Қазақстанда қолдануға болатын жалпы қабылданған мультиагентті басқару алгоритмдері жоқ. Осылайша, энергетикалық жүйелердің кең класы үшін сенімді мультиагентті басқару алгоритмдерін құру мәселесі шешілмеген күйінде қалып отыр.



Сурет 1 –IES AAN орталықтандырылған басқару жүйесінің құрылымы

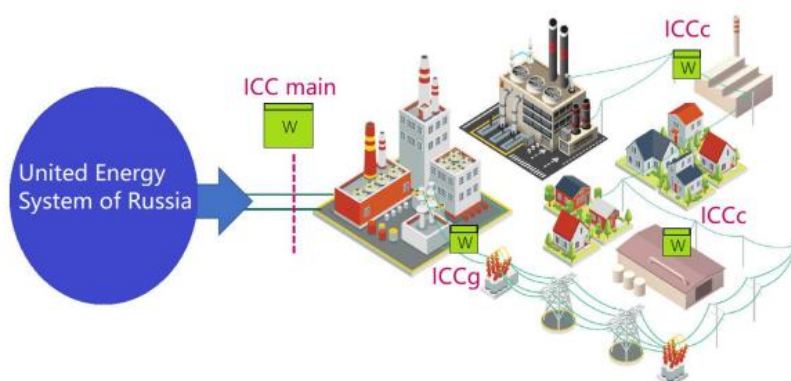
### Нәтижелер мен талқылау

Белсенді энергетикалық кешен

Қазақстанда әзірленген IES AAN тұжырымдамаларын әлемдік энергетикалық жүйелердегі микрожелілер идеяларының қазіргі дамуы аясында кеңейтуге және қолдануға болады.

Пилоттық жоба контекстінде белсенді энергетикалық кешен (БЭК) тұтынушылары өнеркәсіптік кәсіпорындар болып табылатын 25 МВт-қа дейінгі генераторларды қамтитын бірыңғай энергетикалық жүйемен байланысты микрожелілер ретінде анықталған.

Әкімшілік және бизнес орталықтары және сауда орталықтарының мәліметтері бойынша, олардың ірқайсысы коммерциялық және өнеркәсіптік тұтынушылар жасаған және интеллектуалды басқарылатын қосылымды (бұдан әрі - ICC) пайдалануға негізделген арнайы процедура бойынша БЭЖ электр желілеріне қосылған өнеркәсіптік микрожелілер болып табылады. ICC БЭК-нің негізгі технологиялық элементі болып табылады, Ол БЭК-нің электр энергиясының (қуатының) ағыны мен есебін үздіксіз бақылауды қамтамасыз етеді, сонымен қатар БЭК-дегі өндіріс пен тұтынуды реттейді, соның ішінде электр энергиясын тұтынуды қашықтықтан шектейді. БЭК-нің рұқсат етілген қуаты шегінде пайдаланушы интерфейсі БЭК-ді жалпыға ортақ желіге қосу нүктесінде, сондай-ақ БЭК құрамына кіретін генераторлар мен тұтынушыларда орнатылады [1]. БЭК - де энергияны өндіру мен тұтынуды реттеу, желіден электр энергиясын тұтыну бойынша ерікті түрде қабылданған міндеттемелерді (рұқсат етілген қуат деп аталатын) ескере отырып, басқарылатын интеллектуалды қосылыммен (ICC) қамтамасыз етіледі.) БЭК-нің рұқсат етілген қуаты шегінде БЭК-нен БЭК-ге қуат ағынының параметрлерін қолдайтын, сондай-ақ БЭК-ге энергия өндіру мен тұтынуды теңестіретін және БЭК шеңберінде электр энергиясын тұтыну режимін шектеу мүмкіндігін қамтамасыз ететін аппараттық-бағдарламалық кешен. БЭК-нің құрылымы 2-суретте қарапайым түрде көрсетілген.



Сурет 2 – Белсенді энергетикалық кешеннің құрылымы

БЭК-тің негізгі жұмыс істеу алгоритмі заңнамалық талаптарға сәйкес 3-суретте көрсетілген.

ICC функционалдығы

Мұндай кешендерді ұйымдастырудың негізгі элементі ақпаратты басқарудың орталықтандырылған интеллектуалды жүйесінің болуы болып табылады. Іске асырылатын БЭК басқарылатын смарт қосылымының кейбір мүмкіндіктерін қарастырайық.

ICC жүйесінің негізгі функциялары төмендегіше:

- 1) ағындарды басқару(сыртқы және ішкі микро желілері бойынша);
- 2) БЭК-нің белсенді қуатының сыртқы ағындарын автоматты реттеу(генерациялайтын қондырғылардың белсенді қуатын автоматты реттеу арқылы жиілікпен түзету бойынша);
- 3) БЭК-ді автоматты түрде бөлу(жиілікті төмендету кезінде оқшауланған жұмысы бойынша);
- 4) БЭК-нің жиілігін астатикалық реттеу;

5) Көрсетілген қызметтер көлемін есептеу(БЭК-нің әрбір субъектісі үшін электр энергиясын беру бойынша).

БЭК техникалық және экономикалық функцияларына мыналар жатады:

1) электр энергиясының бөлшек сауда нарығы (тұтыну профильдері мен бағаларын болжамы бойынша);

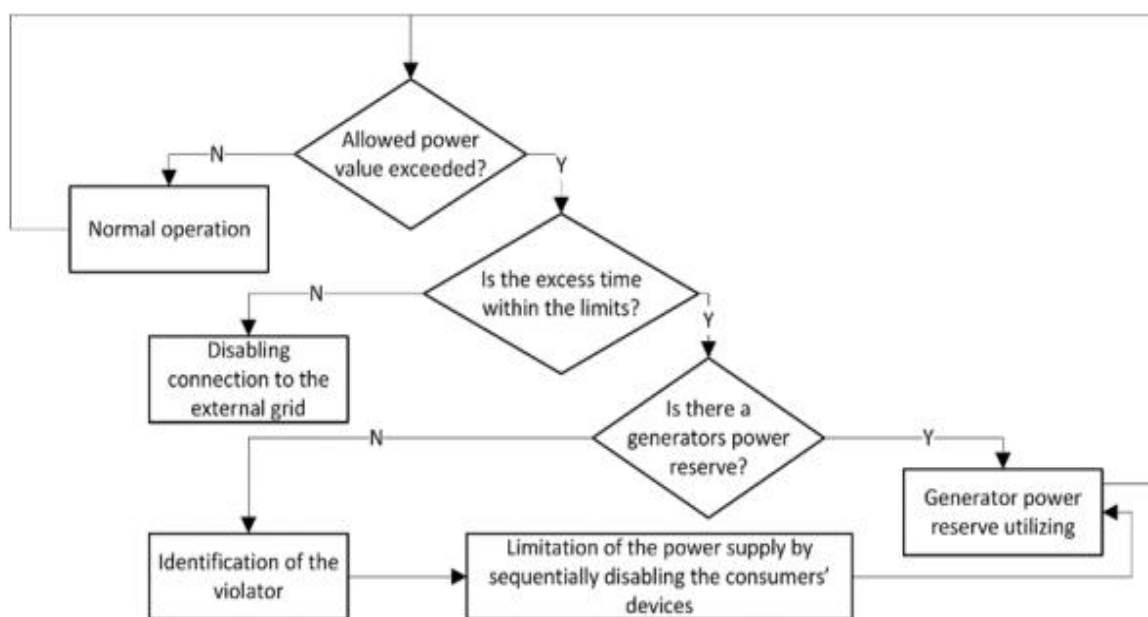
2) электр энергиясын сату(сағаттық шарттық көлемін оңтайландыру және АЭК субъектілері арасындағы сатып алу-сату шарттарын түзету бойынша);

3) қуат блогын жүктеуді экономикалық оңтайландыру;

4) көрсетілген электр энергиясын жеткізу қызметтерінің көлемін есептеу;

5) желілік ұйымға және кепілдік беруші жеткізушіге электронды түрде көрсетілген қызметтердің сертификаттарын жіберу.

3-суретте БЭК-тің негізгі жұмыс істеу алгоритмі көрсетілген.



Сурет 3 –БЭК жұмысының негізгі алгоритмі

### Қорытынды

Бұл мақалада энергетикалық секторда басқарудың интеллектуалды әдістерін қолданудың өзектілігі талданады. Көптеген дереккөздерге сүйене отырып, МАС-ты пайдалану өзекті болып табылады. Қазақстанда құрылған IES AAN тұжырымдамасы Қазақстанда микрожелілерді (БЭК) салуға қатысты заманауи заңнаманы толық ескермейтіні көрсетілген, сондықтан туындайтын міндеттерді тиімді шеше алатын интеллектуалды басқару жүйелерін құру қажет. Жергілікті тәжірибеде белсенді энергетикалық кешендерді басқару мәселелерін шешуге жарамды мультиагенттік бақылау жүйелері жоқ. Көп агенттік тәсілге негізделген БЭК-де жұмыс істеу үшін интеллектуалды басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы ұсынылған. Басқару жүйесінің функционалдығына қойылатын талаптар келтірілген. Зерттеулерді дамытудың одан әрі бағыты жекелеген агенттердің жұмыс істеу алгоритмдерін әзірлеу, тиісті бағдарламалық қамтамасыз етуді құру болып табылады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Ананичева С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие, 3-е изд., испр. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014, 93 с.

2. Бердников Р.Н. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью//Энергия Единой сети. – 2022, № 4 (4), С. 4–11.
3. Б.Б. Кобец, И.О. Волкова В.Р. Окорок Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом // Энергоэксперт. – 2019, №2, С. 52-58.
4. Глущенко П.В. Активно-адаптивные электросети: интеллектуальный мультиагентный диагностико-прогнозирующий комплекс и интеллектуальный алгоритм мультиагента решений диагностического мониторинга//Управление экономическими системами: электронный научный журнал. - 2014. - № 8 (68). - С. 1.
5. Malik F. H. A review: Agents in smart grids // Electric Power Systems Research.2016, Vol. 131, Pp. 71–79.
6. Stone P. Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective//Autonomous Robots. – 2000, Vol. 8. - Is. 3. Pp. 345–383.
7. Roche R. Multi-agent systems for grid energy management: A short review // IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. - IEEE, 2010, Pp. 3341–3346.
8. Kiran P. Multi-agent based systems on micro grid - a review//2017 international conference on intelligent computing and control (I2C2). - IEEE, 2017, Pp. 1–6.

#### References

1. Ananicheva S.S. Kachestvo jelektrojenergii. Regulirovanie naprjazhenija i chastoty v jenergosistemah: uchebnoe posobie, 3-e izd., ispr. Ekaterinburg: Izd-vo UrFU, 2014, 93 s.
2. Berdnikov R.N. Osnovnye polozhenija koncepcii intellektual'noj jelektrojenergeticheskoj sistemy Rossii s aktivno-adaptivnoj set'ju//Jenergija Edinoj seti. – 2022, № 4 (4), С. 4–11.
3. Б.Б. Кобец, И.О. Волкова В.Р. Окорок Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом // Jenergojekspt. – 2019, №2, С. 52-58.
4. Glushhenko P.V. Aktivno-adaptivnye jelektroseti: intellektual'nyj mul'tiagentnyj diagnostiko-prognozirujushhij kompleks i intellektual'nyj algoritm mul'tiagenta reshenij diagnosticheskogo monitoringa//Upravlenie jekonomicheskimi sistemami: jelektronnyj nauchnyj zhurnal. - 2014. - № 8 (68). - С. 1.
5. Malik F. H. A review: Agents in smart grids // Electric Power Systems Research.2016, Vol. 131, Pp. 71–79.
6. Stone P. Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective//Autonomous Robots. – 2000, Vol. 8. - Is. 3. Pp. 345–383.
7. Roche R. Multi-agent systems for grid energy management: A short review // IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. - IEEE, 2010, Pp. 3341–3346.
8. Kiran P. Multi-agent based systems on micro grid - a review//2017 international conference on intelligent computing and control (I2C2). - IEEE, 2017, Pp. 1–6.

**Б.К. Уралов\*, К.З. Корабаева, К.Ж. Смагулов, А. Кенесова**

к.т.н., доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан  
старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан  
преподаватель, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан  
магистрант, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: uralov-1973.2@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В РАМКАХ АКТИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

### **Аннотация**

В данной статье представлен аналитический обзор технологий искусственного интеллекта, используемых в задачах технологического управления электроэнергетикой. Доказана актуальность использования мультиагентных систем для решения энергетических задач. Рассмотрена концепция интеллектуальной энергетической системы с активной адаптивной сетью (IES AAN). Структурная схема системы управления электроэнергетической системой приведена в рамках IES AAN. Показано, что разработанные принципы централизованного управления не в полной мере применимы для небольших распределительных сетей – микросетей, с использованием накопительных устройств и возобновляемых источников. В статье описывается активный энергетический комплекс Казахстана в контексте аналога концепции микросетей. Исследован необходимый функционал интеллектуального управляемого соединения, приведен основной алгоритм работы ICC и описана предлагаемая структура для построения распределенной системы интеллектуального мультиагентного управления АЭК, реализующей требуемые функции. Мультиагентное программное обеспечение системы управления работает с MATLAB / PSAT.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, мультиагент, энергетическая система, микродвигатель, генераторы, математическая модель.

**B.K. Uralov\*, K.Z. Korabaeva, K.Zh. Smagulov, A. Kenesova**

Cand.Tech.Scie., Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan  
Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan  
Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan  
master student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

\*Corresponding author's email: uralov-1973.2@mail.ru

## **APPLICATION OF MULTIAGENT APPROACH IN ELECTRICITY CONTROL SYSTEMS IN THE SCOPE OF AN ACTIVE ENERGY COMPLEX**

### **Abstract**

This article presents an analytical review of artificial intelligence technologies used in problems of technological management of the electric power industry. The relevance of using interdepartmental systems to solve energy problems has been proven. The concept of an intelligent energy system with an active adaptive network is considered. A block diagram of the control system for the electric power system within the framework of the active energy complex is given. It is shown that the developed principles of centralized control are not fully applicable to small distribution networks - microgrids using storage devices and renewable energy sources. The active energy complex of Kazakhstan is described in the article as an analogue of the microgrid concept. The necessary functionality of intelligent controlled communication has been studied, an algorithm for the operation of intelligent controlled communication has been created and a distributed intelligent multi-agent control system for active energy complex that implements these functions has been described. The multi-agent control system software works with MATLAB/PSAT.

**Keywords:** electric power, multi-agent, power system, micro-network, generators, mathematical model.