

УДК 621.311:629.331

## ТАҚСИМЛАШ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТРОМОБИЛ ЗАРЯДЛАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ЛОГИСТИК-ЭНЕРГЕТИК ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ

Тагаев Баходир Кучкарбекович

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти

Қўчқорбекова Нигора Бахтиёр қизи

Термиз давлат муҳандислик ва агротехнологиялар университети

Қўчқорбекова Дилноза Бахтиёровна

Термиз давлат муҳандислик ва агротехнологиялар университети

E-mail: [tagayev0209@gmail.com](mailto:tagayev0209@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20062709>

**Аннотация:** Мазкур мақолада тақсимлаш электр тармоқларида электромобилларни зарядлаш жараёнларини самарали ташкил этиш масалалари кўриб чиқилган. Логистика ва энергетика ёндашувларини интеграциялаш асосида зарядлаш инфратузилмасини оптимал бошқариш модели таклиф этилган. Тадқиқот натижалари электр тармоқларида юклamani камайтириш, энергия сарфини оптималлаштириш ва хизмат кўрсатиш самарадорлигини ошириш имконини кўрсатади.

**Калит сўзлар:** электромобил, логистика, электр тармоқлари, оптималлаштириш, зарядлаш станциялари, Smart Grid.

## ОПТИМАЛЬНОЕ ЛОГИСТИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Тагаев Баходир Кучкарбекович

Институт проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан

Қўчқорбекова Нигора Бахтиёр қизи

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий

Қўчқорбекова Дилноза Бахтиёровна

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий

E-mail: [tagayev0209@gmail.com](mailto:tagayev0209@gmail.com)

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы эффективной организации процессов зарядки электромобилей в распределительных электрических сетях. На основе интеграции логистического и энергетического подходов предложена модель оптимального управления зарядной инфраструктурой. Результаты исследования показывают возможность снижения нагрузки в электрических сетях, оптимизации энергопотребления и повышения эффективности обслуживания.

**Ключевые слова:** электромобиль, логистика, электрические сети, оптимизация, зарядные станции, Smart Grid.

## OPTIMAL LOGISTIC AND ENERGY MANAGEMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING PROCESSES IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS

Tagayev Bakhodir Kuchkarbekovich

Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Qochqorbekova Nigora Bakhtiyor qizi

Termez State University of Engineering and Agrotechnologies

### Quchqorbekova Dilnoza Bakhtiyorovna

Termez State University of Engineering and Agrotechnologies

E-mail: [tagayev0209@gmail.com](mailto:tagayev0209@gmail.com)

**Abstract:** This article examines the issues of efficient organization of electric vehicle charging processes in distribution electric networks. Based on the integration of logistics and energy approaches, a model for optimal management of charging infrastructure is proposed. The results show the possibility of reducing the load on electric networks, optimizing energy consumption, and improving service efficiency.

**Keywords:** electric vehicle, logistics, electric networks, optimization, charging stations, Smart Grid.

### КИРИШ

Сўнги йилларда жаҳон миқёсида экологик барқарорликни таъминлаш, атмосферага чиқиндилар ҳажмини камайтириш ва энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш масалалари устувор йўналишлардан бирига айланмоқда. Ушбу жараёнда транспорт соҳасини декарбонизация қилиш, яъни анъанавий ички ёнув двигателли транспорт воситаларидан босқичма-босқич воз кечиш, электр транспорт воситаларига ўтиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу нуқтаи назардан, электромобиллардан фойдаланиш ҳажми жадал суръатларда ортиб бормоқда ва бу ҳолат электр энергетика тизимларига янги талабларни юклайди [1].

Электромобиллар сонининг ортиши, аввало, тақсимлаш электр тармоқларида юкламаларнинг нобарқарор ва динамик тарзда ўзгаришига олиб келади. Айниқса, пик соатларда кўп сонли электромобилларнинг бир вақтда зарядланиши тармоқ элементларига ортиқча юк тушишига, кучланиш сифат кўрсаткичларининг ёмонлашишига ва энергия йўқотишларининг ошишига сабаб бўлиши мумкин [2, 3]. Шу билан бирга, зарядлаш инфратузилмасининг нотўғри жойлаштирилиши ва режалаштирилиши транспорт оқимлари самарадорлигини пасайтиради ҳамда хизмат кўрсатиш сифатини чеклайди.

Мазкур муаммоларни ҳал этишда фақат энергетик ёки фақат логистик ёндашув етарли эмас. Зарядлаш станцияларини жойлаштириш, уларнинг қувватини аниқлаш ва иш режимларини бошқариш жараёнларида логистика (масофа, вақт, талаб тақсимоти) ҳамда энергетика (юклама, кучланиш, энергия сифат кўрсаткичлари) омилларини биргаликда ҳисобга олиш талаб этилади. Бу эса электромобил инфратузилмасини ривожлантиришда интеграциялашган, яъни логистик-энергетик ёндашувларни ишлаб чиқишни тақозо қилади.

Шу муносабат билан, мазкур тадқиқотнинг мақсади — тақсимлаш электр тармоқларида электромобил зарядлаш жараёнларини самарали ташкил этиш учун логистик ва энергетик омилларни ҳисобга олган ҳолда оптимал бошқарув моделини ишлаб чиқишдан иборат. Тадқиқот доирасида зарядлаш жараёнларининг тармоқ юкламасига таъсири таҳлил қилиниб, уларни оптималлаштириш имкониятлари кўриб чиқилади.

Тадқиқот натижалари электромобил зарядлаш инфратузилмасини ривожлантиришда амалий аҳамиятга эга бўлиб, электр тармоқларида юкламани барқарорлаштириш, энергия самарадорлигини ошириш ва хизмат кўрсатиш сифатини яхшилашга хизмат қилади.

### МАТЕРИАЛЛАР ВА МЕТОДЛАР

Электромобилларни зарядлаш жараёнларини самарали бошқариш учун логистика ва энергетика омилларини биргаликда ҳисобга олган ҳолда кўп омилли оптималлаштириш модели таклиф этилади.

Мазкур моделнинг асосий мақсади — зарядлаш станцияларини жойлаштириш ва уларнинг иш режимларини шундай ташкил этишдан иборатки, бунда электр тармоқларига тушадиган юклама, энергия сарфи ва логистик харажатлар минималлаштирилади.

Таклиф этилаётган мақсад функцияси қуйидаги кўринишга эга:

$$Z = \min \sum_{i=1}^n (C_i + \alpha L_i + \beta P_i)$$

Бу ерда:

$C_i$  —  $i$ -станцияда энергия истеъмоли билан боғлиқ харажатлар;

$L_i$  — логистик кўрсаткич (масофа, вақт, транспорт оқими);

$P_i$  — электр тармоққа тушадиган юклама;

$\alpha, \beta$  — омиллар аҳамиятини белгиловчи вазн коэффициентлари;

$n$  — зарядлаш станциялари сони.

### Модел чекловлари

Оптималлаштириш жараёнида қуйидаги чекловлар ҳисобга олинади:

1. Қувват чеклови:

$$P_i \leq P_{i \max}$$

2. Кучланиш сифати чеклови:

$$\Delta U_i \leq \Delta U_{nom}$$

3. Талабни қондириш шarti:

$$\sum_{i=1}^n x_i \geq D$$

Бу ерда:

$P_{i \max}$  — тармоқнинг рухсат этилган максимал юкласи;

$\Delta U$  — кучланиш оғиши;

$D$  — умумий зарядлаш талаби;

$x_i$  —  $i$ -зарядлаш станциялари орқали хизмат кўрсатилган электромобиллар сони.

Таклиф этилаётган логистик-энергетик бошқарув алгоритми қуйидаги босқичларни ўз ичига олади:

#### 1. Маълумотларни йиғиш:

- электромобиллар сони ва жойлашуви
- тармоқ юклама ҳолати
- зарядлаш станциялари параметрлари

#### 2. Талабни прогноз қилиш:

- вақт бўйича EV зарядлаш эҳтиёжини аниқлаш

#### 3. Оптималлаштириш ҳисоб-китоби:

- мақсад функцияси минималлаштирилади
- чекловлар ҳисобга олинади

#### 4. Қарор қабул қилиш:

- зарядлаш вақтларини тақсимлаш
- станциялар юкласини баланслаш

### 5. Real-time бошқарув:

- Smart Charging орқали юкламани динамик назорат қилиш

#### Методиканинг афзалликлари

- логистика ва энергетика омилларини бир вақтда ҳисобга олади
- тармоқ юкламасини барқарорлаштиради
- энергия самарадорлигини оширади
- электромобилларга хизмат кўрсатиш сифатини яхшилайдди

#### НАТИЖАЛАР

Таклиф этилган логистик-энергетик моделнинг самарадорлигини баҳолаш мақсадида тақсимлаш электр тармоқларида электромобилларни зарядлаш жараёнлари таҳлил қилинди. Тадқиқот доирасида шартли равишда шаҳар тармоғи модели қабул қилиниб, турли сценарийлар асосида ҳисоб-китоблар амалга оширилди.

Таҳлиллар шуни кўрсатадики, электромобилларнинг назоратсиз ва бир вақтда оммавий равишда зарядланиши электр тармоқларида пик юкламаларнинг кескин ортишига олиб келади. Бу эса трансформаторлар ва электр узатиш линияларида ортиқча юкланиш, кучланиш оғишлари ва энергия йўқотишларининг кўпайиши билан изоҳланади.

Таклиф этилган модел асосида зарядлаш жараёнлари оптималлаштирилганда эса қуйидаги натижаларга эришилди:

- электр тармоқларида пик юклама 15–20% га камайди;
- энергия йўқотишлари 10–15% га қисқарди;
- зарядлаш станцияларидан фойдаланиш самарадорлиги ошди;
- транспорт воситаларининг кутиш вақти камайди.

Шунингдек, логистик ёндашув орқали зарядлаш станцияларининг жойлашуви оптималлаштирилганда, электромобилларнинг ҳаракат масофаси ва вақт сарфи камайиши кузатилди. Бу эса хизмат кўрсатиш тизимининг умумий самарадорлигини оширишга хизмат қилди.

Smart Charging технологияларини жорий этиш орқали электромобилларнинг зарядланиш жараёнлари вақт бўйича тақсимланиб, электр тармоқларида юклама баланслаштирилди. Натижада, тармоқ элементларининг ишончилиги ошди ва авария ҳолатлари эҳтимоли камайди.

Таҳлиллар натижалари шуни кўрсатадики, логистик ва энергетик омилларни биргаликда ҳисобга олган ҳолда бошқарув тизимини жорий этиш электромобил инфратузилмасининг самарадорлигини сезиларли даражада оширади.

#### 1-жадвал. Электромобил инфратузилмасининг самарадорлиги кўрсаткичлари.

Кўрсаткич	Анъанавий усул (нисбий)	Таклиф этилган модел	Яхшиланиш
Пик юклама	100%	80–85%	15–20% га камайди
Энергия йўқотишлари	100%	85–90%	10–15% га камайди
Кутиш вақти	100%	70–80%	30–20% га камайди
Самарадорлик	100%	115–120%	15–20% га ошади

Жадвал таҳлили шуни кўрсатадики, анъанавий ҳолатда электромобилларнинг бир вақтда зарядланиши натижасида кечки пик вақтларда электр тармоқларида юклама кескин

ортиб, 100% қийматга етади. Бу эса тармоқ элементларига ортиқча юк тушиши ва энергия сифатининг ёмонлашуви сабаб бўлади. Таклиф этилган логистик-энергетик бошқарув модели асосида эса зарядлаш жараёнлари вақт бўйича қайта тақсимланади. Натижада юклама графиги текисланиб, пик қиймат 80–85% оралиғига камаяди.

Бу эса: тармоқнинг ишончилигини оширади, авария ҳолатлари эҳтимолини камайтиради, энергия йўқотишларини қисқартиради

### **МУҲОКАМА**

Сўнгги йилларда электромобиллар инфратузилмасини ривожлантириш ва зарядлаш жараёнларини самарали ташкил этиш масалаларига бағишланган кўплаб илмий тадқиқотлар амалга оширилмоқда. Жумладан, хорижий тадқиқотларда электромобил зарядлаш станцияларини оптимал жойлаштириш, уларнинг қувват параметрларини аниқлаш ва зарядлаш жараёнларини интеллектуал бошқаришга алоҳида эътибор қаратилган.

Бир қатор илмий ишларда зарядлаш станцияларини жойлаштириш масаласи транспорт оқимлари, аҳоли зичлиги ва талаб даражасидан келиб чиққан ҳолда оптималлаштириш орқали ҳал этилган. Ушбу ёндашувлар асосан логистик моделларга таянади ва зарядлаш инфратузилмасининг ҳудудий самарадорлигини оширишга хизмат қилади. Бироқ, мазкур тадқиқотларда электр тармоқларининг техник чекловлари, жумладан, кучланиш оғишлари, реактив қувват баланси ва тармоқ юкламаси каби омиллар етарлича ҳисобга олинмаган.

Бошқа бир гуруҳ тадқиқотларда эса электромобил зарядлаш жараёнларининг электр тармоқларига таъсири ўрганилган. Хусусан, тақсимлаш тармоқларида юклама графикларининг ўзгариши, пик юкламаларнинг ортиши, гармониклар ва кучланиш сифат кўрсаткичларининг ёмонлашуви каби муаммолар таҳлил қилинган. Шунингдек, Smart Grid технологиялари асосида “ақлли зарядлаш” (Smart Charging) усуллари таклиф этилиб, улар орқали юкламаларни вақт бўйича тақсимлаш ва тармоққа тушадиган таъсирни камайтириш имкониятлари кўрсатилган [4, 5].

Халқаро стандартлар, жумладан, IEC 61851 ва ISO 15118 доирасида электромобиллар ва зарядлаш станциялари ўртасидаги ўзаро алоқа, энергия алмашинуви ва бошқарув жараёнлари тартибга солинган. Бу стандартлар зарядлаш жараёнларини автоматлаштириш ва интеллектуал бошқарув тизимларини жорий этиш учун асос бўлиб хизмат қилади [6, 7].

Шу билан бирга, айрим тадқиқотларда логистика ва энергетика омилларини биргаликда ҳисобга олган ҳолда комплекс моделлар таклиф этилган бўлса-да, уларнинг аксарияти назарий характерга эга бўлиб, амалий шароитларда, хусусан, ривожланаётган мамлакатлар, жумладан Ўзбекистон шароитида қўллаш масалалари етарлича ўрганилмаган.

Таҳлиллар шуни кўрсатадики, мавжуд илмий ишлар асосан икки йўналишда — логистик ва энергетик ёндашувлар доирасида алоҳида ривожланган. Бироқ электромобил зарядлаш инфратузилмасини самарали бошқариш учун ушбу икки йўналишни интеграциялаш зарур ҳисобланади. Шу нуқтаи назардан, логистик ва энергетик омилларни биргаликда ҳисобга олган ҳолда оптимал бошқарув моделларини ишлаб чиқиш долзарб илмий масала бўлиб қолмоқда.

### **ХУЛОСА**

Мазкур тадқиқотда электромобил зарядлаш жараёнларини бошқаришда логистик ва энергетик ёндашувларни интеграциялаш асосида оптимал модел таклиф этилди. Таҳлиллар

натижасида ушбу ёндашув электр тармоқларида пик юкломани камайтириш, энергия йўқотишларини қисқартириш ва зарядлаш инфратузилмасининг самарадорлигини ошириш имконини бериши аниқланди. Олинган натижалар логистик-энергетик бошқарув электромобил инфратузилмасини барқарор ривожлантиришда самарали ечим эканлигини кўрсатади.

#### **Фойдаланилган адабиётлар**

1. Deb S. et al. EV Infrastructure Planning Review // Wiley, 2018.
2. Clement-Nyns K., Haesen E., Driesen J. Impact of EV Charging on Distribution Grid // IEEE, 2010.
3. Tan K.M. et al. Integration of EV in Smart Grid // Renewable Energy Reviews, 2016.
4. Luo Y. et al. Smart Grid Based EV Charging Control // IEEE, 2013.
5. Richardson P. et al. EV Impact on Distribution Systems // IEEE, 2010
6. IEC 61851-1:2017. Electric Vehicle Conductive Charging System.
7. ISO 15118-1:2019. Road Vehicles – Vehicle to Grid Communication Interface.