

УДК: 621.316:504.06:629.064

Турсунбаев Жанболот Жанышович, к.т.н., доцент,  
orcid.org/ 0009-0006-8465-7879,  
Сатыбалдыев Абдимиталип Баатырбекович, к.т.н., доцент,  
orcid.org/0009-0006-2226-069X,  
Таабалдиев Максатбек Дамирбекович, магистрант,  
Ошский технологический университет  
E-mail: jhanbolot.72@gmail.com, Baatyrbekovich@gmail.com.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

*Масштабная интеграция электромобилей в транспортный сектор представляет собой одно из ключевых звеньев перехода к экологически сбалансированной энергетике и сокращения выбросов парниковых газов. Однако столь активное проникновение электрического транспорта порождает дополнительные требования к энергетическим системам, что особенно заметно в государствах с ограниченным энергообеспечением, в частности, в Кыргызской Республике. Актуальность данной работы обусловлена насущной необходимостью не только спрогнозировать возрастающие нагрузки на энергосистему, но и сформировать действенные механизмы управления с учетом непрерывного увеличения числа электромобилей.*

*Цель исследования заключается в создании математических моделей, способных адекватно оценивать влияние массового распространения электромобилей на энергосистему Кыргызстана с учетом особенностей сезонного энергопотребления. В основе методологии лежит математическое моделирование, позволяющее определить динамику возрастания нагрузки, а также уточнить, каким образом сезонные колебания потребления электроэнергии влияют на работу сети. Для реализации этого подхода были учтены параметры текущего уровня генерации, эксплуатационные характеристики электромобильных батарей и специфика климатических условий региона.*

*Анализ полученных результатов демонстрирует, что ежегодное увеличение парка электромобилей в стране влечет за собой планомерный рост нагрузки на энергосистему, достигающий примерно 0,7% от общего объема генерации за десятилетний период. Наибольший скачок потребления приходится на зимние месяцы, что акцентирует внимание на необходимости учитывать сезонные факторы при формировании стратегии развития энергетической инфраструктуры. Разработанные в ходе исследования модели подтверждают свою эффективность: они не только позволяют прогнозировать риски, но и формулируют конкретные рекомендации по снижению негативных последствий. В числе таких рекомендаций — расширение сети зарядных станций и внедрение умных систем управления процессом зарядки.*

*Практическая значимость полученных выводов состоит в укреплении стабильности энергосистемы и повышении эффективности её работы в условиях интенсивного роста числа электромобилей. В теоретическом аспекте исследование вносит вклад в разработку методик, предусматривающих детализированный учет сезонных колебаний, а также в интеграцию возобновляемых источников энергии, что в долгосрочной перспективе способствует непрерывной устойчивости энергосистемы.*

*Ключевые слова: электромобили; энергосистема; сезонные колебания; устойчивое развитие; математическое моделирование; нагрузка на энергосеть.*

Турсунбаев Жанболот Жанышович, т.и.к., доцент,  
Сатыбалдыев Абдимиталип Баатырбекович, т.и.к., доцент,  
Таабалдиев Максатбек Дамирбекович, магистрант,  
Ош технологиялык университети

## **ЭЛЕКТРОМОБИЛДЕРДИН КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ИНФРАСТРУКТУРАСЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДЕШТИҮҮ**

*Электромобилдердин транспорт тармагына кеңири интеграцияланышы экологиялык жактан туруктуу энергетикага өтүүнүн жана парник газдарынын бөлүнүп чыгышын азайтуунун негизги багыттарынын бири болуп саналат. Бирок электр транспорту өтө активдүү киргизилгенде, энергетикалык системаларга кошумча талаптар жаралат. Бул өзгөчө энергия менен камсыздоо чектелген өлкөлөрдө, анын ичинде Кыргыз Республикасында даана байкалат. Бул изилдөөнүн актуалдуулугу, электр системасына жогорулаган жүктөмдөрдү алдын ала болжолдоо зарылдыгы менен катар электромобилдердин санынын өсүшүн эске алуу менен натыйжалуу башкаруу механизмдерин иштеп чыгуу керектигинде.*

*Изилдөөнүн максаты – сезондук электр энергиясын керектөөнүн өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен электромобилдердин кеңири таралышынын Кыргызстандагы энергетикалык системага тийгизген таасирин туура баалоого жөндөмдүү математикалык моделдерди түзүү. Методологиянын негизин математикалык моделдөө түзөт, бул жүктөмдүн өсүү динамикасын аныктоого жана сезондук электр энергиясын керектөө өзгөрүүлөрүнүн тармактын иштешине кандай таасир этерин тактоого мүмкүндүк берет. Бул ыкманы ишке ашыруу үчүн учурдагы электр энергиясын өндүрүү деңгээлинин параметрлери, электромобилдердин батареяларынын эксплуатациялык өзгөчөлүктөрү жана аймактын климаттык шарттары эске алынган.*

*Анализ көрсөткөндөй, өлкөдө электромобилдердин санынын жыл сайын көбөйүшү энергетикалык системадагы жүктөмдүн туруктуу өсүшүнө алып келет, бул он жылдык мөөнөттө жалпы электр энергиясын өндүрүүнүн көлөмүнүн болжол менен 0,7% түзөт. Эң чоң жүктөм кыш айларына туура келет, бул энергетикалык инфраструктураны өнүктүрүү стратегиясын түзүүдө сезондук факторлорду эске алуу зарылдыгын баса белгилейт. Изилдөөдө иштелип чыккан моделдер өзүнүн натыйжалуулугун көрсөттү: алар тобокелчиликтерди алдын ала болжолдоп гана тим болбостон, терс таасирлерди азайтуу боюнча конкреттүү сунуштарды да сунуштайт. Мындай сунуштардын ичинде заряддоо станцияларынын тармагын кеңейтүү жана заряддоо процессин башкаруу үчүн акылдуу системаларды киргизүү бар.*

*Алынган тыянактардын практикалык мааниси – электромобилдердин санынын интенсивдүү өсүш шарттарында энергетикалык системанын туруктуулугун бекемдөө жана анын иштешинин натыйжалуулугун жогорулатуу. Теориялык жактан алганда, изилдөө сезондук өзгөрүүлөрдү деталдуу эсепке алган методикаларды иштеп чыгууга жана кайра жаралуучу энергия булактарын интеграциялоого салым кошот, бул узак мөөнөттүү келечекте энергетикалык системанын үзгүлтүксүз туруктуулугун камсыз кылат.*

*Негизги сөздөр: электромобилдер; энергетикалык система; сезондук өзгөрүүлөр; туруктуу өнүгүү; математикалык моделдөө; энергетикалык жүктөм.*

Tursunbaev Zhanbolat Zhanyshovich,  
candidate of technical sciences, associate professor,  
Abdimalip Baatyrbekovich Satybaldyev,  
candidate of technical sciences, associate professor,  
Taabaldiev Maksatbek Damirbekovich, graduate student,  
Osh Technological University named after M. M. Adyshev

## **MATHEMATICAL MODELING OF THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES ON THE ENERGY INFRASTRUCTURE OF THE KYRGYZ REPUBLIC**

*The large-scale integration of electric vehicles (EVs) into the transportation sector represents one of the key components of the transition to environmentally sustainable energy and the reduction of greenhouse gas emissions. However, such an active penetration of electric transport imposes additional demands on energy systems, particularly in countries with limited energy resources, such as the Kyrgyz Republic. The relevance of this study lies in the urgent need not only to forecast increasing loads on the energy system but also to develop effective management mechanisms considering the continuous growth in the number of electric vehicles.*

*The aim of this research is to create mathematical models capable of adequately assessing the impact of the widespread adoption of electric vehicles on Kyrgyzstan's energy system, taking into account the specifics of seasonal energy consumption. The methodology is based on mathematical modeling, which enables the determination of load growth dynamics and the clarification of how seasonal fluctuations in electricity consumption affect network operations. To implement this approach, parameters of the current generation level, operational characteristics of EV batteries, and the specifics of the region's climatic conditions were taken into account.*

*Analysis of the results demonstrates that the annual increase in the electric vehicle fleet in the country leads to a steady rise in the load on the energy system, reaching approximately 0.7% of the total generation volume over a decade. The most significant surge in consumption occurs during the winter months, emphasizing the need to consider seasonal factors when developing strategies for energy infrastructure development. The models developed in this study prove their effectiveness: they not only allow for the prediction of risks but also formulate specific recommendations to mitigate negative impacts. Among these recommendations are the expansion of charging station networks and the introduction of smart systems for managing the charging process.*

*The practical significance of the findings lies in strengthening the stability of the energy system and improving its efficiency under conditions of rapid growth in the number of electric vehicles. Theoretically, the study contributes to the development of methods that provide a detailed account of seasonal fluctuations and the integration of renewable energy sources, thereby promoting the long-term sustainability of the energy system.*

*Key words: electric vehicles; energy system; seasonal fluctuations; sustainable development; mathematical modeling; energy grid load.*

**Введение.** В последние годы электромобили стремительно вышли на передний план как ключевой инструмент глобального экологического сдвига и уменьшения углеродного следа [1-4]. Их востребованность связана не только с возможностью минимизировать вредные выбросы в атмосферу, но и с потенциальными трудностями

для национальных энергосистем, которые зачастую работают с ограниченными возможностями генерации и несут высокие колебания спроса [5]. В условиях Кыргызстана, опирающегося главным образом на гидроэнергетику и подверженного сезонным колебаниям в производстве и потреблении электроэнергии, массовое внедрение электромобилей становится особенно актуальным вызовом, требующим тщательного исследования [6].

Одним из центральных вопросов при наращивании парка электромобилей служит оценка и регулирование дополнительной нагрузки, формируемой при их массовом использовании [7-9]. Нагрузку эту невозможно рассматривать изолированно, поскольку существующие особенности энергосистемы — от неравномерной сезонной генерации до скачкообразных пиков потребления — требуют комплексного подхода. Таким образом, задача прогнозирования и управления распределением электроэнергии становится первостепенной для поддержания стабильности сети. В условиях Кыргызстана, где переменчивость водных ресурсов напрямую воздействует на объемы электрогенерации, особенно важно понять, как внедрение интеллектуальных систем зарядки и адаптивных моделей может смягчить возникновение перегрузок в периоды максимального потребления [10].

Исходная гипотеза данного исследования заключается в том, что негативное влияние значительного роста числа электромобилей на энергосистему Кыргызстана может быть существенно ограничено посредством разработки и внедрения математических моделей, учитывающих все нюансы сезонного характера энергопотребления, и параллельного формирования гибких алгоритмов управления процессом зарядки. Эти меры, вкупе с дополнительными инициативами по оптимизации энергетического баланса, способны не только снизить вероятность перебоев, но и стимулировать более эффективное использование существующих энергоресурсов.

Цель исследования — предложить и обосновать такой подход к моделированию и прогнозированию дополнительной нагрузки, который учтет уникальную структуру сезонных колебаний в энергосистеме Кыргызстана и позволит гармонично интегрировать растущее количество электромобилей.

Для достижения этой цели сформулированы следующие задачи:

1. Провести детальный анализ функционирования энергосистемы Кыргызстана, уделив особое внимание сезонным аспектам генерации и потребления электроэнергии.
2. Разработать и протестировать математические модели, способные прогнозировать рост нагрузки при увеличении числа электромобилей.
3. Исследовать влияние сезонных факторов на динамику энергопотребления, связанного с зарядкой электромобилей, и интегрировать эти данные в созданные модели.
4. Выработать рекомендации, направленные на минимизацию потенциальных рисков и оптимизацию работы энергосистемы в условиях интенсивного роста спроса на электроэнергию.

Данное исследование призвано внести существенный вклад в разработку научно обоснованных методов и практик по управлению энергосистемой в эпоху ускоренной электрификации транспортного сектора. Подобные шаги имеют прямое значение для закрепления устойчивого развития энергетики Кыргызстана, поскольку в долгосрочной перспективе они позволят модернизировать инфраструктуру, оптимизировать потребление ресурсов и обеспечить стабильность поставок электроэнергии даже в периоды пикового спроса.

**Материалы и методы исследования.** *Экспериментальная база и выборка исследования.* В представленном исследовании в качестве предметной области выбрана энергетическая инфраструктура Кыргызской Республики, отличительной чертой

которой является значительная зависимость от гидроэнергетических ресурсов и ощутимые сезонные перепады в объёмах электроэнергопотребления. Первоначальной точкой анализа послужили сведения об актуальном уровне генерации электроэнергии, текущем количестве электромобилей и ежегодной динамике их прироста. Временной горизонт исследования охватывает десятилетний период, что даёт возможность рассмотреть тенденции и колебания на достаточно длительном интервале.

1. *Математическое моделирование динамики нагрузки.* Для прогноза увеличения нагрузки на энергетическую сеть применялся метод математического моделирования, опирающийся на предположение о линейной взаимосвязи между годовым ростом числа электромобилей и соответствующим ростом потребления электроэнергии. Данный подход признан оптимальным ввиду его простоты внедрения и адекватной точности в условиях ограниченности исходных данных, а также способности моделировать прямую пропорциональную зависимость.

2. *Оценка совокупной нагрузки на энергосистему.* Для всестороннего анализа воздействия электромобилей на общую выработку электроэнергии применялся метод комплексной оценки, включающий в себя расчёт совокупной нагрузки, которую создаёт растущее количество электромобилей, и определение её доли относительно общего энергетического потенциала региона. Благодаря такому подходу удалось выявить, насколько значимую роль электромобили будут играть в формировании долгосрочного баланса энергопотребления, учитывая объёмы и динамику генерации.

3. *Учет сезонных факторов и климатических особенностей.* Так как в регионе наблюдаются существенные сезонные колебания потребления, особое внимание было уделено методу расчёта нагрузок с учётом коэффициентов, демонстрирующих различия в потребностях в разные времена года. К примеру, зимой повышается расход энергии на подогрев аккумуляторов электромобилей, что приводит к возрастанию нагрузки, тогда как в летний период эти затраты снижаются. Подобный методологический приём позволяет учесть региональные климатические условия и их прямое влияние на потребление электроэнергии.

4. *Графический анализ результатов.* Для наглядного представления динамики роста нагрузки и сезонных колебаний применялся метод визуализации данных в формате графиков и диаграмм. Это дало возможность детально проследить, как именно возрастает нагрузка на протяжении всего анализируемого периода, а также зафиксировать интервалы максимального напряжения в сети, требующие дополнительных мер по регулированию выработки и потребления электроэнергии.

*Схема исследования.* Исследовательский процесс был структурирован поэтапно. Изначально проведён обширный сбор данных об энергетической системе, включая величины суточной и сезонной нагрузки, объёмы генерации, а также сведения о существующем и прогнозируемом количестве электромобилей. Затем эти данные послужили основой для построения математических моделей, призванных описать закономерности роста нагрузки и учесть сезонные колебания. На завершающем этапе результаты сравнительного анализа и математического моделирования были сведены и визуализированы в графическом виде, что позволило чётко сформулировать выводы о рисках и перспективах дальнейшей интеграции электромобилей в энергосистему Кыргызской Республики.

**Результаты исследования.** В данной работе рассматривается, как увеличивающееся число электромобилей влияет на энергосистему Кыргызстана. Для этого разработаны математические модели, которые оценивают ежегодный прирост нагрузки с учётом линейного роста парка электромобилей и сезонных колебаний электроэнергии. В модели включены данные о генерации в разные периоды года, суточных пиках потребления и особенностях использования электромобилей, что помогает выявлять потенциальные риски и находить способы сохранить стабильную работу энергосистемы.

Целью данного исследования является моделирование и прогнозирование увеличения нагрузки на энергосистему Кыргызстана, вызванного массовым внедрением электромобилей, с учетом сезонных факторов, влияющих на динамику энергопотребления.

Количество электромобилей в год  $t$ :

$$N_{EV}(t) = N_{EV}(0) + t \cdot N_{inc} \quad (1)$$

Где  $N_{EV}$ —количество электромобилей в текущем году, ед.,  $N_{EV}(0)$  — количество электромобилей в начальный момент (можно принять  $N_{EV}(0) = 0$ ),  $N_{inc}$  — ежегодное увеличение количества электромобилей.

Годовое потребление электроэнергии электромобилями:

$$L_{EV}(t) = N_{EV}(t) \cdot E_{EV} \quad (2)$$

Где  $L_{EV}$ — нагрузка на энергосистему от электромобилей, кВт·ч.,  $E_{EV}$ — годовое потребление электроэнергии одним электромобилем, кВт·ч.

Доля нагрузки электромобилей от общей выработки электроэнергии:

$$R_{load}(t) = \frac{L_{EV}(t)}{P_{gen}} \cdot 100 \quad (3)$$

Где  $P_{gen}$  — суммарная годовая выработка электроэнергии в энергосистеме Кыргызстана, кВт·ч.

Начальные параметры для Кыргызстана:

- $E_{EV}=3000$  кВт·ч/год.
- $P_{gen}=13 \times 10^9$  кВт·ч/год (13 миллиардов).
- $N_{inc}=3000$  электромобилей/год.
- $T=10$  лет (период моделирования)

Алгоритм моделирования:

1. Установить начальные значения  $N_{EV}(0) = 0$ ,  $t=0$ .
2. Для каждого года  $t$  вычислить:
  - Количество электромобилей  $N_{EV}(t)$ .
  - Годовое потребление электроэнергии  $L_{EV}(t)$ .
  - Долю нагрузки от электромобилей  $R_{load}(t)$ .

Применяя формулу (3), вычисляется доля энергопотребления электромобилей в общей структуре производства электроэнергии. Затем строится графическая зависимость функции  $R_{load}(t)$  от временного параметра  $t$ . На рисунке 1 представлены

итоговые результаты анализа, демонстрирующие динамику изменения нагрузки с течением времени.

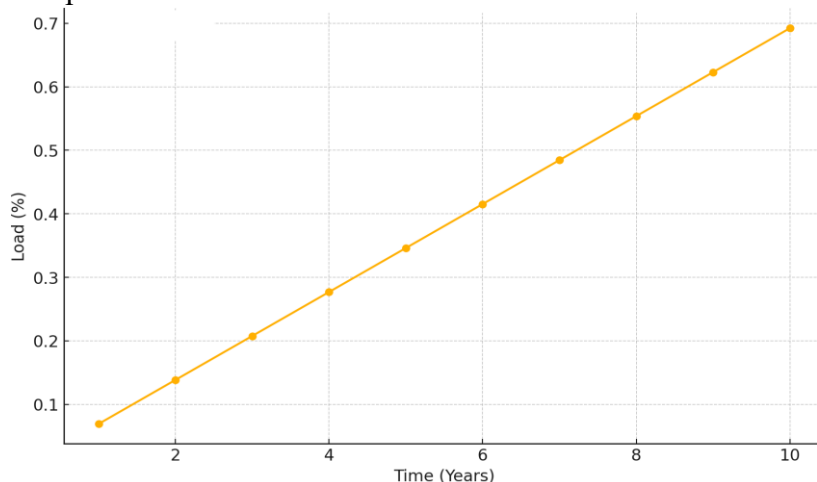


Рис. 1. Зависимость нагрузки электромобилей ( $R_{load}$ ) от времени ( $t$ )

На основании рисунка 1 можно сделать следующие выводы:

*1. Линейный рост нагрузки:*

- Влияние электромобилей на энергосистему Кыргызстана демонстрирует линейную зависимость, обусловленную ежегодным увеличением их количества на 3000 единиц.
- Этот факт подчеркивает, что объем потребляемой электроэнергии растет пропорционально количеству электромобилей, что свидетельствует о предсказуемости нагрузки в краткосрочной перспективе.

*2. Темпы увеличения нагрузки:*

- Спустя 10 лет доля нагрузки, вызванной электромобилями, составит примерно 0,7% от общей годовой генерации электроэнергии.
- Несмотря на кажущуюся незначительность этого показателя относительно общего объема генерации, такие темпы роста требуют внимательного анализа, особенно при прогнозировании влияния на энергосистему в более отдаленном будущем.

*3. Устойчивость энергосистемы к дополнительной нагрузке:*

- Согласно текущим параметрам генерации и прогнозируемым темпам роста парка электромобилей, энергосистема Кыргызстана способна эффективно справляться с дополнительной нагрузкой.
- При таких условиях вероятность возникновения перегрузок крайне мала, что обеспечивает устойчивость системы на ближайшие годы.

*4. Долгосрочные перспективы и рекомендации:*

- Несмотря на стабильность энергосистемы, для обеспечения долгосрочной надежности следует учитывать следующие шаги:
  - Регулярный мониторинг динамики роста числа электромобилей и соответствующей нагрузки.
  - Развитие сети зарядной инфраструктуры с учетом сезонных и суточных пиков потребления.
  - Внедрение интеллектуальных систем управления зарядкой, которые позволят эффективно распределять нагрузку в периоды наибольшего спроса.

Таким образом, анализ показывает, что в течение ближайших 10 лет рост числа электромобилей не создаст критических проблем для энергосистемы. Однако, с учетом перспективного роста, требуется стратегическое планирование для поддержания стабильности.

Чтобы детально отобразить изменения в потреблении электроэнергии, обусловленные сезонными факторами, целесообразно расширить модель специальным параметром, который будет учитывать вариации спроса в разные периоды года. Включение подобного фактора позволит более точно отследить колебания и скорректировать прогнозы в соответствии с изменениями климата или характерными особенностями конкретного сезона. Для внедрения этого подхода необходимо придерживаться нескольких последовательных шагов, каждый из которых способствует корректному учёту сезонных влияний.

*Обозначения для сезонности:*

- $S_f(t,m)$  — фактор сезонности в месяц  $m$  года  $t$ , показывает относительное изменение нагрузки по сравнению со средним потреблением.
- $L_{EV,season}(t,m)$  — месячная нагрузка от электромобилей в месяце  $m$ , учитывающая сезонность.

*Математическая модель с учётом сезонности:*

- а) Годовое потребление электромобилей с разбивкой по месяцам:

$$L_{EV,season}(t, m) = L_{EV}(t) \cdot S_f(t, m) \quad (4)$$

где:  $L_{EV}(t)$  — общее годовое потребление электромобилей за год  $t$ ,  $S_f(t, m)$  —

относительный сезонный коэффициент, например:

- Летние месяцы могут быть снижены на 10–20%,
- Зимние месяцы увеличены на 20–30%, учитывая рост нагрузки на отопление или обогрев батарей электромобилей.

**б) Доля нагрузки от электромобилей в месяце  $m$ :**

$$R_{load,season}(t, m) = \frac{L_{EV,season}(t, m)}{P_{gen,month}(m)} \cdot 100 \quad (5)$$

где:  $P_{gen,month}(m)$  — месячная генерация электроэнергии, учитывающая

сезонные изменения.

**в) Учет сезонных коэффициентов:**

Сезонные коэффициенты  $S_f(t, m)$  можно определить на основе:

- Статистических данных о потреблении электроэнергии в Кыргызстане (например, повышение зимой на 30%, снижение летом на 20%).
- Среднемесячной температуры, влияющей на отопление зданий и обогрев батарей электромобилей.

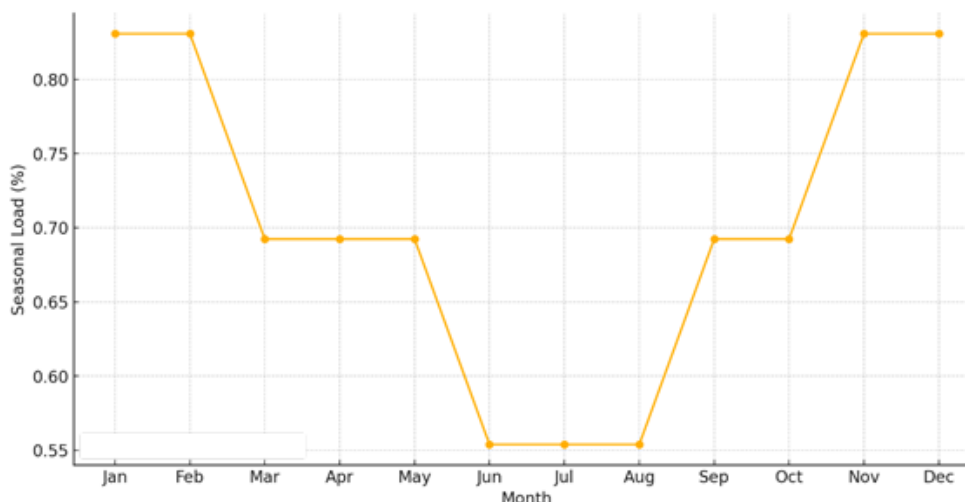
Пример:

$$S_f(t, m) = \begin{cases} 1,2, \text{ для зимних месяцев (январь – февраль, ноябрь – декабрь)} \\ 0,8, \text{ для летних месяцев (июнь – август)} \\ 1,0, \text{ для остальных месяцев} \end{cases}$$

**Обновленный алгоритм расчёта:**

1. Разделить годовое потребление  $L_{EV}(t)$  на 12 месяцев.
2. Умножить месячное потребление на коэффициент  $S_f(t, m)$ .

С помощью формулы (5) рассчитывается доля нагрузки, создаваемая электромобилями в определённом месяце  $m$ . На основании этих данных построен график, отображающий зависимость  $R_{load,season}(t, m)$  от времени по месяцам в течение каждого календарного года. Итоговые результаты приведены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Влияние сезонной нагрузки электромобилей на энергетическую систему Кыргызстана

Ниже представлена развернутая интерпретация сезонной нагрузки от электромобилей, сформированная так, чтобы продемонстрировать характерные колебания потребления энергии и возможные сценарии оптимизации в различное время года.

1. *Выраженная сезонная неравномерность.* С самого начала стоит обратить внимание на яркие контрасты в поведении энергосистемы, когда речь заходит об использовании электромобилей. Зима (особенно январь, февраль, ноябрь и декабрь) демонстрирует наиболее высокий уровень нагрузки – примерно 0,83% от совокупной выработки электроэнергии. Это обусловлено целым рядом факторов: в условиях низких температур заметно возрастает энергопотребление на обогрев аккумуляторных блоков, а также снижается общая эффективность батарей, что подстегивает дополнительное потребление.

Напротив, в летние месяцы (июнь, июль, август) наблюдается минимальная нагрузка, достигающая примерно 0,55% от всей генерации. В данном случае важную роль играет более стабилизированная температура окружающей среды, благодаря которой аккумуляторы сохраняют оптимальный режим работы и не нуждаются в интенсивном нагреве или охлаждении.

2. *Промежуточные сезоны и стабильность.* Переходные месяцы – с марта по май и с сентября по октябрь – характеризуются средними показателями нагрузки, колеблющимися в пределах 0,7%. В это время энергопотребление не выходит на экстремальные значения ни по «зимнему» сценарию, ни по «летнему». Подобная умеренность создает условия для относительного равновесия между числом подключенных к сети электромобилей и общей выработкой электроэнергии.

### 3. *Актуальные тенденции и потенциальные угрозы*

○ *Зимний период.* Увеличенная нагрузка в холодное время года требует предварительной подготовки энергосистемы, особенно при продолжающемся росте числа владельцев электромобилей. Важно адекватно оценивать риски недокомпенсированного потребления, которое может влиять на общую устойчивость сети.

○ *Летний период.* Низкие значения нагрузки открывают возможности для внедрения более гибких стратегий зарядки и использования накопителей энергии. Именно в этот сезон есть все шансы оптимизировать процессы зарядки электромобилей и частично разгрузить систему в периоды сравнительно низкого спроса.

### 4. *Стратегические рекомендации*

○ *Сглаживание пиков:* целесообразно применять интеллектуальные алгоритмы, которые перераспределяют потребление в течение суток. Например, смещать активную зарядку на ночные часы или иные промежутки с меньшим общим спросом.

○ *Заблаговременная подготовка к зиме:* расширение сети быстрых зарядных станций и внедрение накопителей энергии способствуют тому, чтобы энергосистема была готова к потенциальному скачку потребления в самые холодные месяцы.

○ *Акцент на возобновляемые источники в летний период:* использование солнечных панелей и других ВИЭ в условиях низких нагрузок может обеспечить частичную автономность для сегмента электромобильного транспорта и одновременно снизить общее сетевое потребление. В заключение отметим, что систематический учет сезонных колебаний в совокупности с грамотным планированием инфраструктуры позволяет обеспечить бесперебойную работу энергосистемы. Зимние пики требуют особо тщательного управления и внедрения дополнительных резервов, тогда как в летние месяцы открываются благоприятные перспективы для оптимизации и развития технологий хранения энергии, призванных сделать электромобильный транспорт более эффективным и экологичным.

**Обсуждение. Краткий обзор исследования.** В рамках данного исследования был проведен всесторонний анализ того, насколько массовое внедрение электромобилей может сказаться на устойчивости энергосистемы Кыргызской Республики. Для оценки потенциальных изменений авторы сформировали набор математических моделей, с помощью которых спрогнозировали годовой прирост нагрузки при растущем числе электромобилей, учитывая при этом колебания потребления электроэнергии в разные сезоны. Ключевой целью было выявить возможные риски для энергосистемы и выработать рекомендации, позволяющие минимизировать неблагоприятные последствия

Наиболее значимые результаты. В ходе исследования выяснилось, что систематический рост парка электромобилей приводит к практически линейному увеличению нагрузки на энергосистему страны. Согласно прогнозам, в течение ближайших десяти лет влияние зарядки электромобилей достигнет около 0,7% от суммарной выработки электроэнергии. Это означает, что с действующими параметрами генерации такая дополнительная нагрузка остается управляемой. При этом максимальные пики использования электроэнергии приходится на зимние месяцы, когда ввиду необходимости прогрева аккумуляторов электромобили могут потреблять примерно на 20–30% больше энергии, чем в более теплый период. Летом, напротив, наблюдается заметное снижение нагрузки, что теоретически открывает возможности для интеграции возобновляемых источников энергии, в частности, солнечной генерации.

*Сравнение с другими исследованиями.* Полученные выводы хорошо согласуются с работами, где изучалось влияние электромобилей на энергосистемы различных государств. Особое внимание в предыдущих исследованиях уделялось сезонным вариациям нагрузки, а также важности интеллектуальных систем управления зарядкой. При этом отличительной чертой условий Кыргызстана является преобладание гидроэнергетики, подверженной колебаниям мощности в зависимости от времени года. Это означает, что стратегия использования электромобилей в стране не может копировать западные решения без учета местных особенностей, поскольку значительная часть электроэнергии приходится на гидрогенерацию, зависящую от уровня водных ресурсов.

*Проблемные зоны и ограничения.* Несмотря на полученные результаты, у исследования есть определенные ограничения. Во-первых, примененные математические модели опираются на линейные зависимости и усредненные показатели, что может скрывать внезапные скачки в динамике распространения электромобилей или форс-мажорные обстоятельства, способные резко изменить объем генерации. Во-вторых, недостаточно детально рассмотрен вопрос формирования зарядной инфраструктуры, которая способна повлиять на распределение нагрузки в течение суток и по территориям. Пренебрежение этими факторами может исказить общую картину и привести к неверным прогнозам.

*Отсутствие некоторых аспектов.* Фокус исследования был направлен исключительно на анализ дополнительной нагрузки от электромобилей на энергосистему, что оставляет за границами работы рассмотрение таких важных тем, как влияние электромобилей на объемы выбросов углекислого газа и потенциальная роль накопителей энергии. Кроме того, в моделях пока не учтен прогресс в повышении энергоэффективности аккумуляторов, который способен со временем частично компенсировать рост энергопотребления. В дальнейшем потребуется целый комплекс дополнительных исследований для выработки комплексной стратегии развития электромобильности и устойчивой энергетики.

Таким образом, по итогам анализа можно констатировать, что в ближайшей перспективе энергосистема Кыргызстана имеет достаточную резервную мощность для

покрытия возрастающей нагрузки со стороны электромобилей. Однако, чтобы сохранить стабильность и в долгосрочной перспективе, необходимо не только развивать зарядную инфраструктуру, но и внимательно следить за сезонными факторами, способными оказывать значительное влияние на общую генерацию. Реализация предлагаемых мер и дальнейший мониторинг отраслевых тенденций позволят избежать негативных сценариев, обеспечивая плавное и безопасное развитие энергосистемы страны в условиях растущей популярности электромобилей.

**Заключение.** Массовое распространение электромобилей сегодня выступает не только заметным стимулом в движении к экологической устойчивости и уменьшению выбросов углекислого газа, но и создает новые точки напряженности для электроэнергетических систем, в особенности там, где ресурсная база ограничена. Как раз к таким странам относится Кыргызская Республика: её энергетический сектор в первую очередь держится на гидроэнергетика и обнаруживает явную сезонность в объёмах выработки электричества. В ходе проведённого исследования была тщательно рассмотрена существующая конфигурация энергосистемы Кыргызстана. Предварительные итоги указывают на то, что год к году растущее количество электромобилей вносит строго линейное увеличение нагрузки на сеть, и пока что такие колебания остаются в зоне управляемости. За десятилетний отрезок доля электромобильной нагрузки по отношению к совокупной генерации достигнет примерно 0,7%. Это в свою очередь подтверждает рабочую гипотезу о возможности смягчения влияния электромобилей на систему через корректировку нагрузочных профилей и внедрение систем интеллектуального управления. Любопытно, что в самые холодные месяцы нагрузка возрастает значительно больше всего, и это подчёркивает необходимость учитывать погодные условия при планировании и оптимизации работы энергосистемы.

1. *Обобщение ключевых выводов. Анализ состояния энергосистемы:* Проведённые расчёты показывают, что кыргызская электроэнергетика пока располагает достаточным запасом прочности, чтобы выдержать дополнительную нагрузку, создаваемую электромобилями, по крайней мере на ближайшую перспективу. Однако зимой, когда в регионе традиционно возрастает энергопотребление, необходим особый подход к регулированию нагрузки.

2. *Построение математических моделей:* В рамках исследования разработана линейная модель, предназначенная для оценки будущего увеличения энергопотребления, связанного с ростом числа электромобилей. Модель наглядно демонстрирует, как численность электропарка воздействует на потребление, одновременно учитывая сезонные колебания, что крайне важно для гидрозависимой системы.

3. *Адаптация к сезонным факторам:* Использование сезонных коэффициентов позволило установить, что в зимний период нагрузка может подсакивать до 30%, тогда как летом она, напротив, падает на 10–20%. Такой детализированный подход даёт возможность более тонко описывать взаимодействие климатических условий и потребления электроэнергии.

4. *Разработка рекомендаций:* Для успешного распределения возрастающей нагрузки предлагается расширять сеть зарядных станций, внедрять интеллектуальные механизмы управления зарядкой и искать новые источники «зелёной» генерации, чтобы компенсировать скачки потребления в периоды пиков.

В целом, полученные результаты подтверждают, что эффективность управления энергосистемой в период массового прихода электромобилей определяется целостным подходом. Дальнейшие научные и практические изыскания, ориентированные на интеграцию аккумулирующих технологий, развитие более энергоёмких и эффективных батарей, а также широкое использование возобновляемых энергоресурсов, представляют существенный шаг на пути к укреплению энергетической устойчивости и обеспечению долгосрочной надёжности сети.

### Литература:

1. Гайдук С.В. Мировые тенденции развития электротранспорта [Текст] / Е. В. Мирошниченко, А. С. Петула // Энергетические установки и технологии. 2023. Т. 9. № 1. С. 108-114.
2. Сысенко Н. Г. Об экологичности электромобилей [Текст] / А. А. Титков, Н. Д. Рейхерт и др. // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1(85). С. 286-294.
3. Кенешбекова Г. Т. Развитие рынка электромобилей в кыргызской республике на современном этапе [Текст] / Ш. А. Аблабеков // Вестник Академии государственного управления при Президенте Кыргызской Республики. 2023. № 31. С. 178-190.
4. Колесникова А. В. Развитие электротранспорта в мире в контексте климатической повестки [Текст] // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 7А. С. 296-303. DOI: 10.34670/AR.2023.24.94.032.
5. Антонова Д. О. Проблема распределения электроэнергии в энергосистемах [Текст] // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 96-9. С. 126-128.
6. Исаева А.Т. Энергосбережение для всех и каждого [Текст] / А. Ш. Калманбетова // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2023. № 1 (64). С. 186-195.
7. Петрова Е.В. Исследование вопроса дефицита мощности и экологического загрязнения зарядных устройств электромобилей [Текст] / И. С. Метелев // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2023. № 4. С. 40-43.
8. Белобородов С. С. К вопросу о целесообразности перехода на электромобили [Текст] / Е. Г. Гашо, А. В. Ненашев // Электрические станции. 2023. № 12 (1109). С. 2-9.
9. Веселов Ф.В. Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЕЭС России [Текст] / А. И. Соляник, Р.О. Аликин // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2023. № 1. С. 57-71.
10. Филькин М. Е. Перспективы интеллектуальных сетей в энергетике электрического транспорта [Текст] // Экономика и предпринимательство. 2024. № 11 (172). С. 1349-1353.

---

УДК 621.436.

Жоробеков Болотбек Астаевич, к.т.н., доцент,  
AuthorID: 919241, SPIN-код: 2775-7236,  
Тажибаев Жоомарт Калмаатович, ст. преподаватель,  
Раев Нурланбек Мамаджанович, магистрант,  
Ошский технологический университет  
E-mail: bolot60@rambler.ru, joomart-79@bk.ru

### ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ОШ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

*В этой статье представлены загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами автомобильным транспортом. С этой целью были проведены работы по изучению интенсивности, скорости движения автомобилей и состав транспортного потока которое существенно влияет на уровень загазованности воздуха придорожной территории.*

*Ключевые слова: Автомобильный транспорт, интенсивность и скорость движения, окиси углерода, углерод*