



# **Гибридное моделирование энергосистемы для создания дорожной карты возобновляемой энергетики Казахстана**

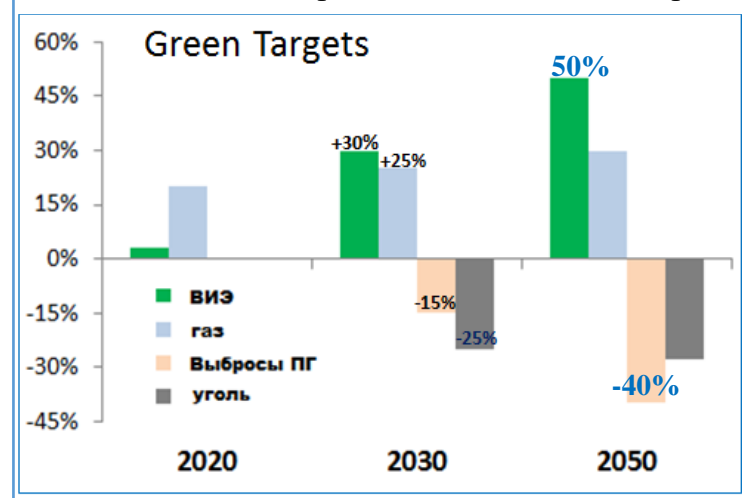
**ИРН АР09261258**

The Ministry of Education and Science of the  
Republic of Kazakhstan, The Committee of Science

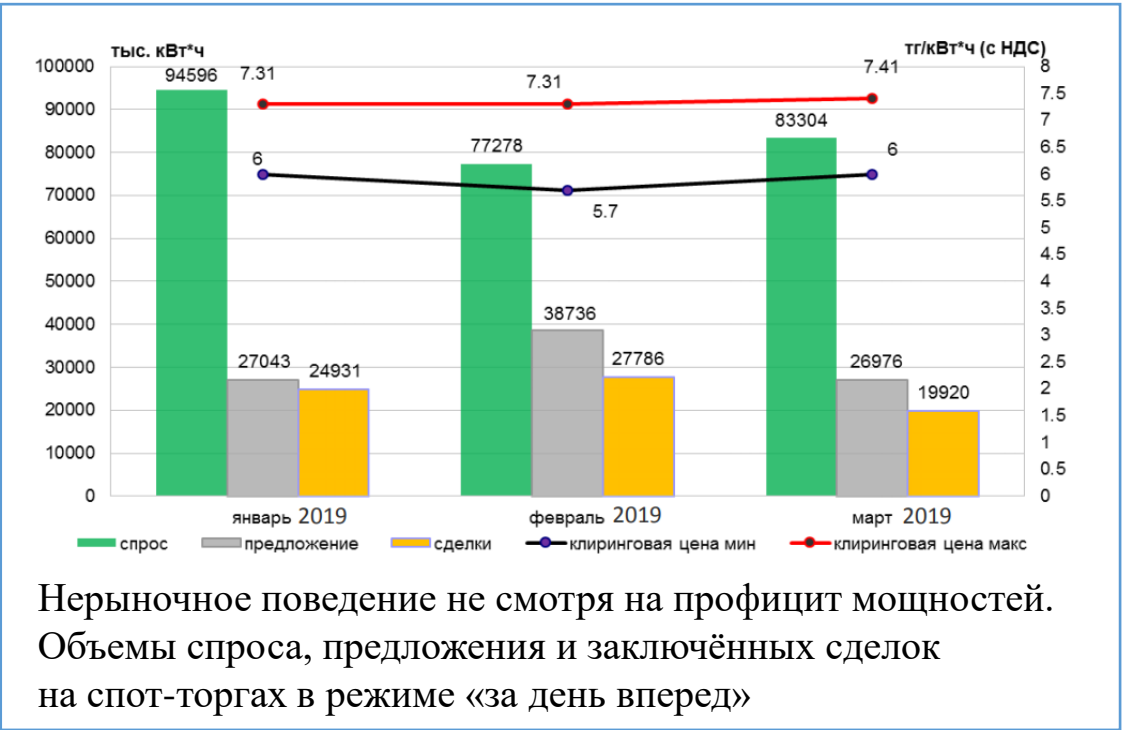
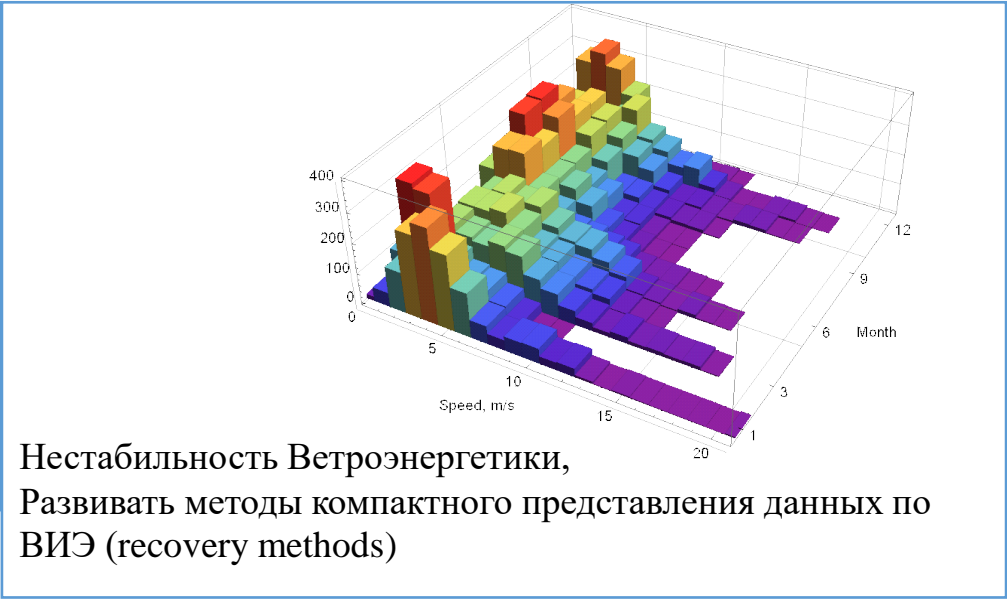
Zhakiyev Nurkhat, PhD

Department of Science and Innovation

# Вызовы при моделировании электроэнергетической системы



Оптимизационное моделирование = рациональное поведение.  
Дефицит маневренных и резервных мощностей, быстрый рост ВИЭ;  
Имитационный режим работы балансирующего рынка мощности.  
Отставание госпланов (газификация 2014-> 2020)  
Низкие тарифы, субсидирование угля.



# Цель

- Разработать интегрированный гибридный инструмент моделирования энергосистемы, включающий модель долгосрочного планирования энергосистемы и операционную модель электроэнергетической системы;
- Разработать Дорожную карту внедрения ВИЭ на 2030/2050 гг., соответствующую оптимальным параметрам производительности, обеспечивающим надежность, экономическую целесообразность и экологичность энергосистемы.

# Задачи

- Обновление долгосрочной модели энергосистемы
- Создание оперативной модели мощности с высокой пространственной, временной, технической дезагрегацией
- Связывание инструментов моделирования
- Разработка дорожной карты возобновляемой энергетики для Казахстана
- Анализ чувствительности и оценка неопределенностей

# Методы исследования

- Soft-linking — метод гибридного связывания моделей итеративно с использованием в качестве входных параметров результатов расчета одной модели в другой. В исследовании используется модель TIMES (The Integrated MARKET-FORM System), позволяющая моделировать энергетическую систему с подробными технико-экономическими параметрами с полной цепочкой топливно-энергетического баланса по всем отраслям экономики.
- Инструмент моделирования PyPSA, используемый для оперативного моделирования электроэнергетической системы путем расчета оптимального потока мощности, анализа потенциала интеграции возобновляемых источников энергии, оптимизации работы существующих электростанций и выявления возможностей повышения энергоэффективности.



# General concept

## ❖ Objectives:

Integrated hybrid modeling tool  
of the energy system

- long-term planning model of the energy system
- operational model of the electric power system
- Scenario Analyses

Roadmap of RE deployment  
2030/2050

- optimal allocation and performance parameters
- reliability
- economic feasibility
- environmental friendliness



# Scientific novelty and significance

RES	Conventional coal power plants
Intermittent, unstable, specific for location and predictable only to a limited extent.	Limited rapid start-up and hot standby capabilities
Variability and uncertainty in planning and operation, less reliability	Additional operational costs due to RESs

- ❖ It is necessary to consider all the economic and technical consequences of RESs introduction in RE roadmap



# Scientific novelty and significance

Long-term energy system models	Operational power models
Advantages	
investments, operation modes, production & consumption and associated prices	detailed technical constraints
	time resolution in the range of 15 minutes to one hour
Disadvantages	
unable to consider short-term changes and limitations associated with increase of RESs	unable to do long-term investment decisions
	time horizon is limited from one day to one year

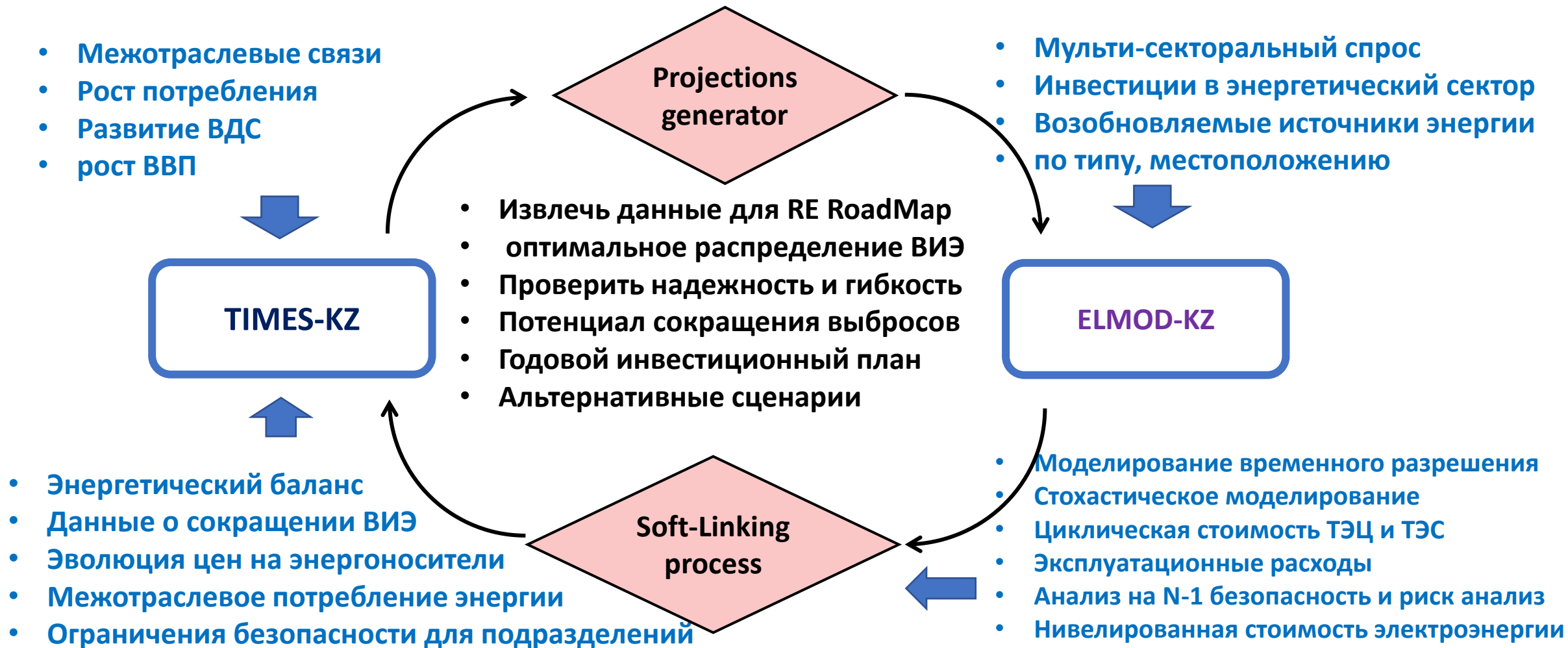




# Scientific novelty and significance

- ❖ The **main hypothesis** of the study is that hybrid models able provide an exhaustive description of possible scenarios for development of the energy system by considering intertemporal, interregional and intersectoral relations.





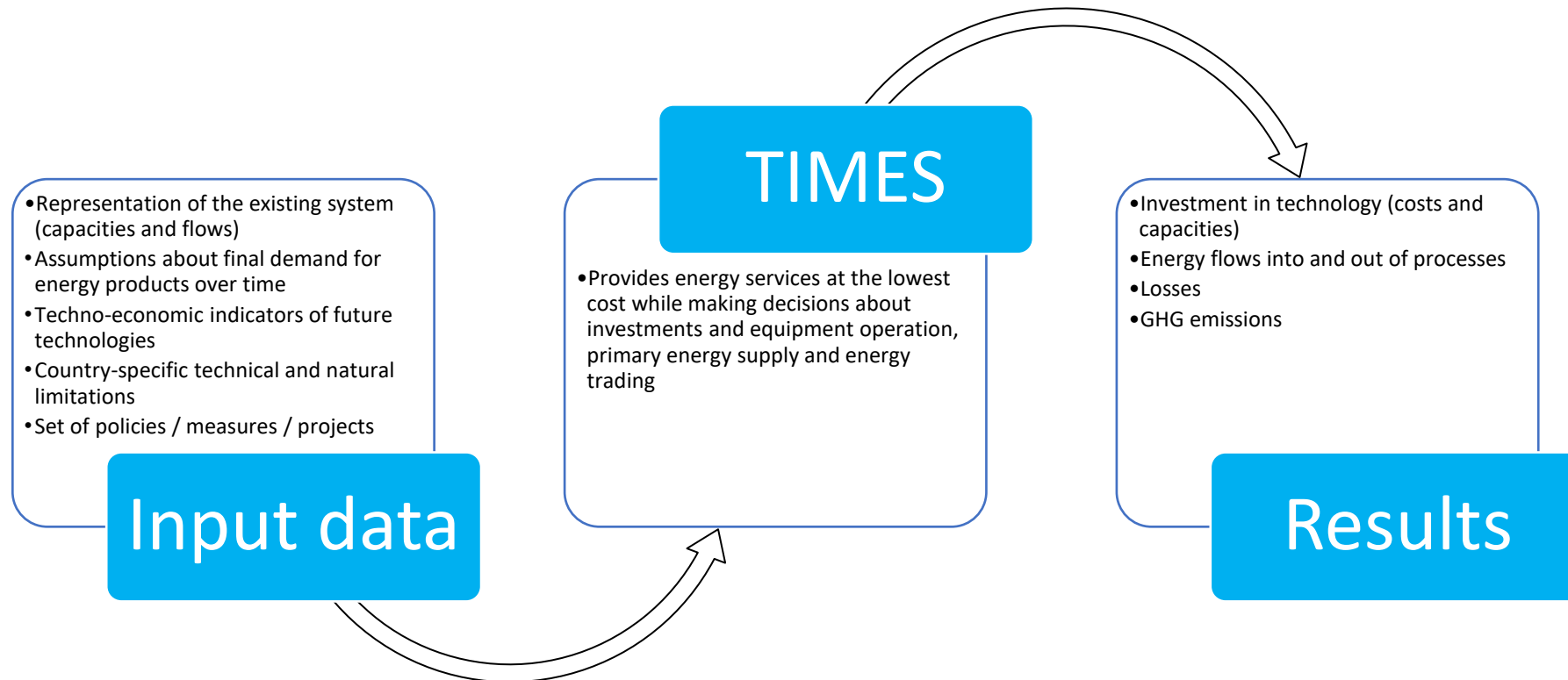


# Research methods and issues

- ❖ Long-term energy system models - TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)
  - Linear programming bottom-up energy models
  - Integrated modeling of the entire energy system
  - Prospective analysis on a long-term horizon (20- 50 yrs)
  - Demand driven (exogenous) in physical units
    - Price-elasticities for end-use demands (optional)
    - Partial and dynamic equilibrium (perfect market)
  - Optimal technology selection
  - Objective-function: Minimization of the total system cost (mono-objective)

# Research methods: TIMES

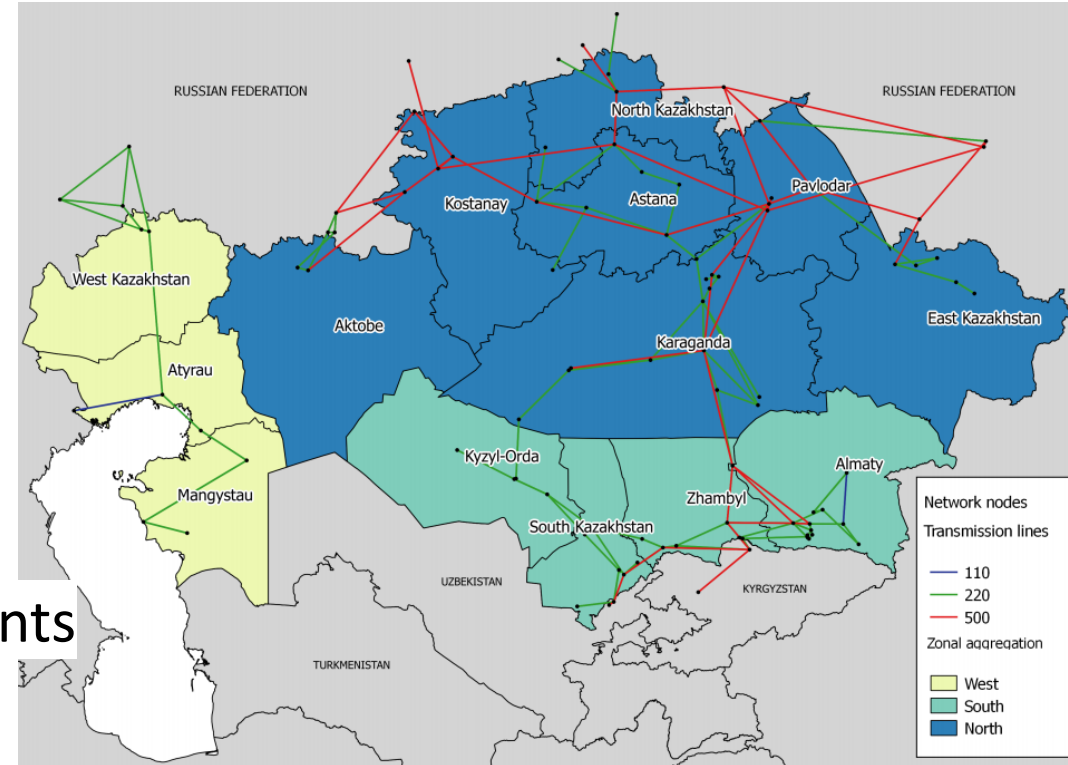
❖ Long-term energy system models - TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)



# Research methods: ELMOD

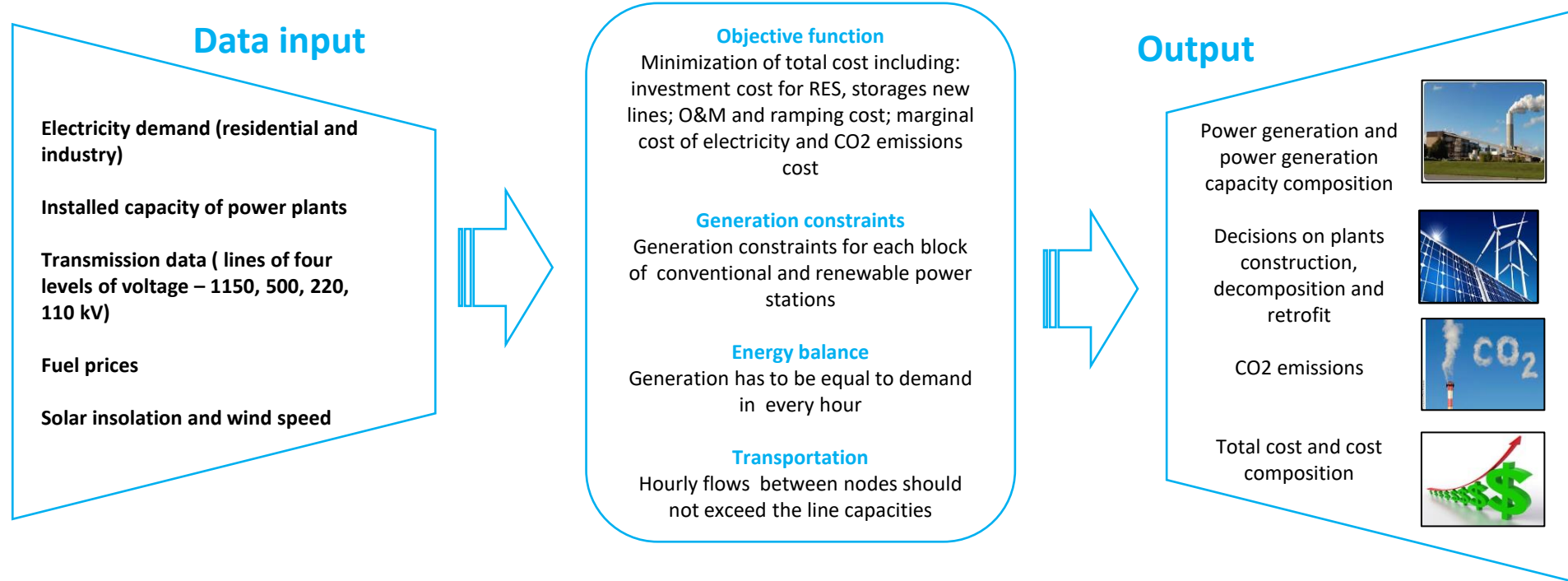
## ❖ Operational Power Model – ELMOD

- DC Load Flow - Optimal Power Flow (DCLF-OPF)
- Collected data by nodes and in hourly resolution
- Nodal–zonal prices - Tariffs for consumers
- the OpenMode initiative (PyPSA)
- Literature Review of the Power Market designs:
- Comparative analyzes
- Stochastic behavior of Solar and Wind power plants
- Integration of energy storage technologies
- Risk analysis with a large share of RES
- Criteria check for N-1 network security



# Research methods: ELMOD

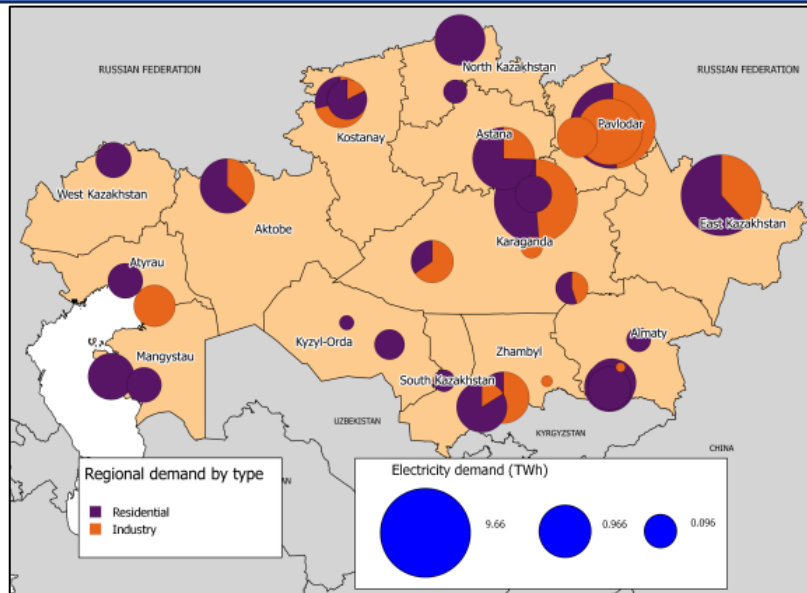
## ❖ Operational Power Model - ELMOD



# Demand and supply

## Lines utilization

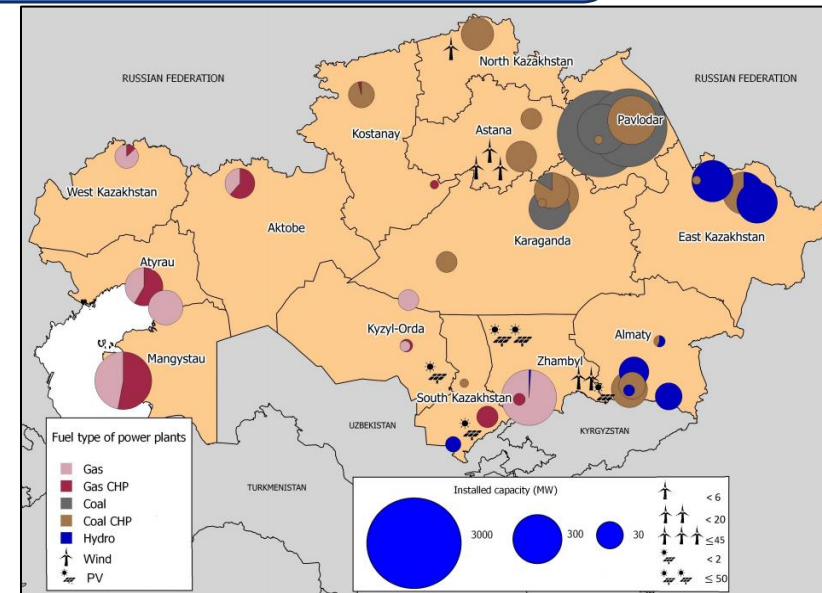
Demand by region



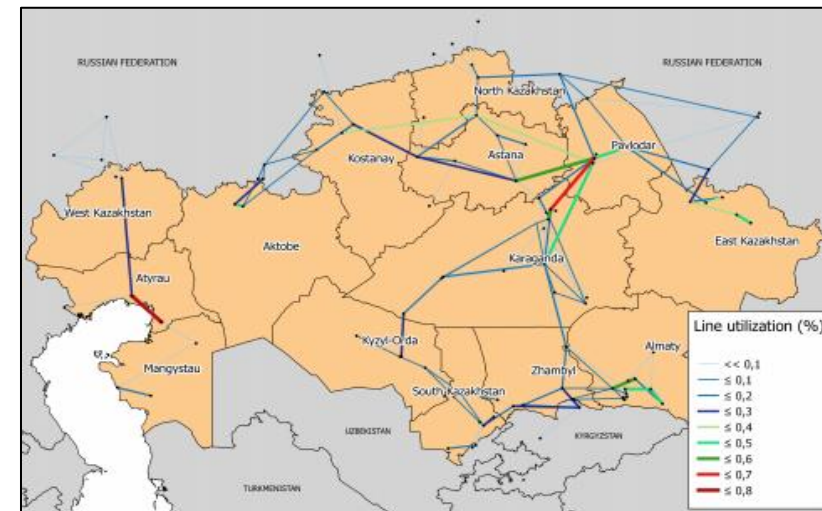
Line utilization. Winter.



Supply by region



Line utilization. Summer.



# Моделирование 24-узловой IEEE RTS системы в GAMS для линеаризации переменного тока

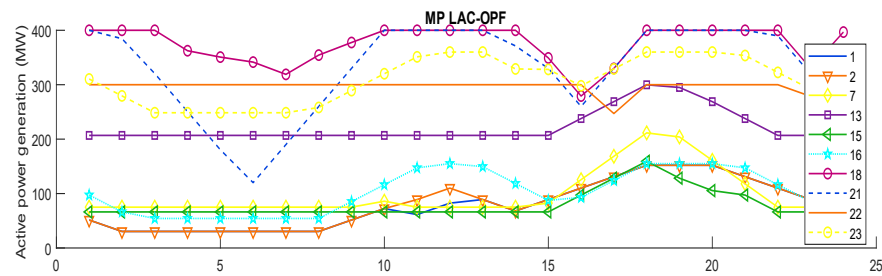
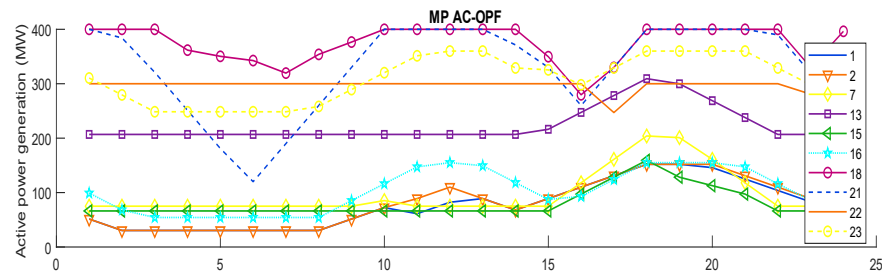
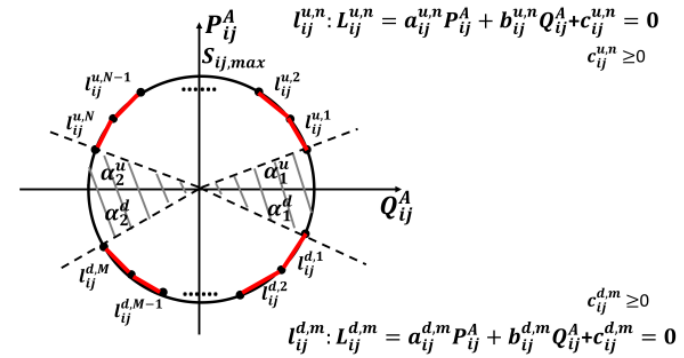


Рисунок 1. Генерация активной мощности  
электростанциями

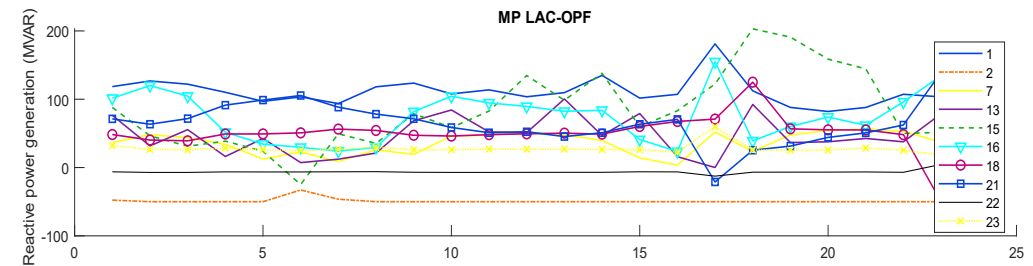
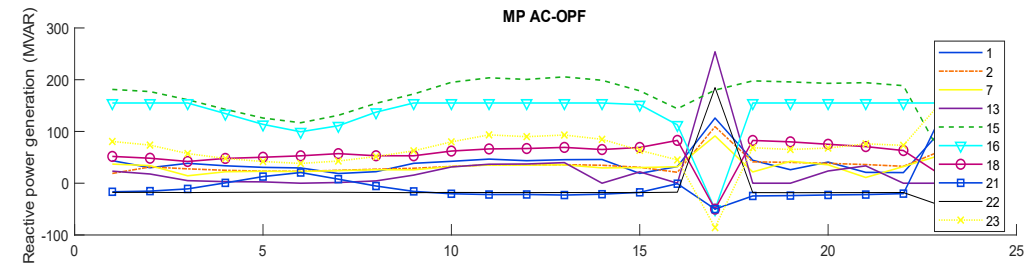
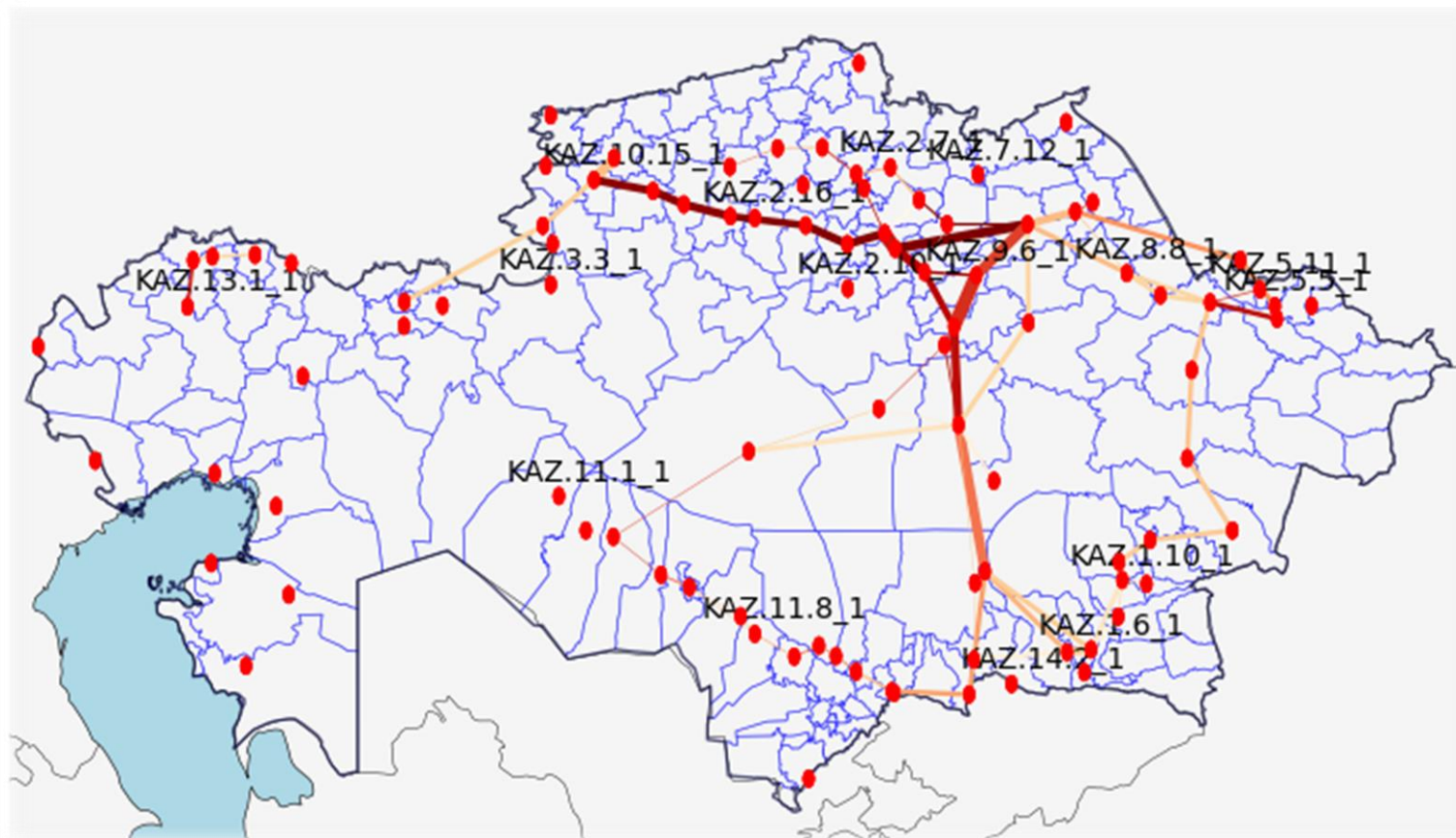


Рисунок 2. Генерация реактивной мощности  
электростанциями



# Высоковольтные линии электропередачи



# Публикации

2021

1. **S. Zhakiyeva**, M. Gabbassov, **Y. Akhmetbekov**, G. Akybayeva and **N. Zhakiyev**, "The Development of a Risk Assessment Modeling for the Power System of Kazakhstan," **2021** IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465892. (indexed in IEEE, Scopus)
2. **Amanbek Y., Kalakova A., Zhakiyeva S.,** Korhan K., **Zhakiyev N.**, Fridrich D. "Distribution-LMP based Transactive Energy Management in Distribution Systems with Smart Prosumers - A Multi-Agent Approach" **Energies** (**2022**, WoS, Scopus-Q1)
3. **B. Sarsembayev**, D. Zholtayev, and Ton Duc Do, Maximum Power Tracking of Variable-Speed Wind Energy Conversion Systems based on a Near-Optimal Servomechanism Control System // *Optimal Control Applications and Methods* (ISSN: 0143-2087, WoS, Q2)

2022

4. **A. Zhanbolatov, S. Zhakiyeva, N. Zhakiyev, K. Kayisli** (2022) "Blockchain-Based Decentralized Peer-to-Peer Negawatt Trading in Demand-Side Flexibility Driven Transactive Energy System" International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), 12(3), 1475-1483. doi:10.20508/ijrer.v12i3.13195.g8530 (Cite score-3.7, Scopus percentile 58, Q2)
5. **B. Sarsembayev, N. Zhakiyev**, A. Akhmetbayev and **K. Kayisli**, "Servomechanism based Optimal Control System Design for Maximum Power Extraction from WECS with PMSG," 2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid, june 27-29, 2022 Istanbul/Turkiye), 2022, pp. 309-313,
6. **A. Zhanbolatov, N. Zhakiyev, S. Zhakiyeva, K. Kayisli**, B.Azibek, T.Dushayeva. "A Multi-carrier Energy Method for Self-Consumption Enhancement in Residential Buildings " in 11th international conference on renewable energy research and applications. September 18-21, 2022, Istanbul/Turkiye <https://ieeexplore.ieee.org/document/9922874>

2023

7. **G.Abdi, N.Zhakiyev**, and S.Toilybayeva "Decarbonization Opportunities and Emerging Carbon Pricing Instruments in Central Asia" ( 2023) Chapter in "Climate Change and Decarbonization in Central Asia", Springer, Berlin (Apr, **2023**, Chapter in Springer's eBook).
8. **Nurkhat Zhakiyev, Ayagoz Khamzina, Svetlana Zhakiyeva, Aidyn Bakdolotov**, Rocco De Miglio, Carmelina Cosmi. Optimization modelling of the decarbonization scenario of the total energy system of Kazakhstan until 2060. **Energies**. 2023

# Команда



Нурхат Жакиев

Главный исследователь, кандидат физико-математических наук. Начальник отдела науки и инноваций



Айдын Бакдолотов

Старший научный сотрудник, магистр ядерной инженерии (Университет Пердью, США). Директор Центра изменения климата – Институт экономических исследований



Баянды Сарсембаев

Старший научный сотрудник, кандидат наук в области электротехники и электроники (Университет Брюнеля, Великобритания).



Бекжан Мукатов

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук (Новосибирский государственный технический университет). Независимый эксперт



Ербол Ахметов

Научный сотрудник, магистр электротехники и электроники (Назарбаев Университет, Казахстан)

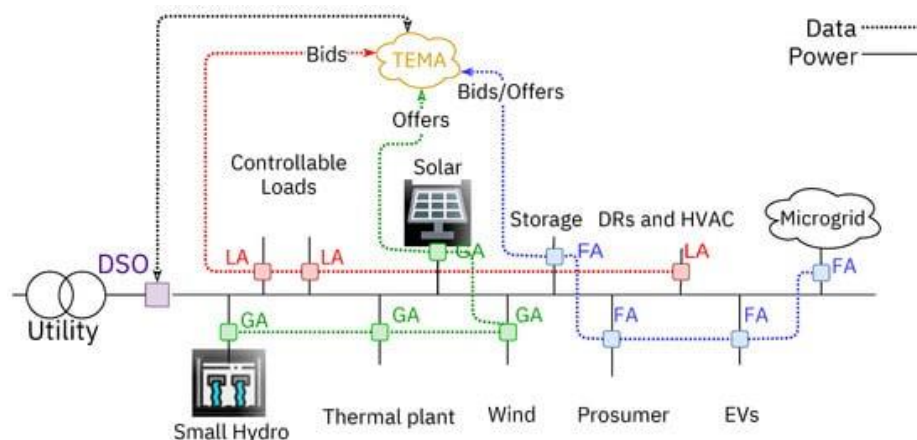


Александр Тен

Исследователь, Мэн в области электротехники и вычислительной техники (Университет Британской Колумбии, Канада)

# Publications 2021-2022

Publications 2021	Статус
<b>1.N.K. Zhakiyev</b> et.al, The Network Reliability Assessment and Risk Prevention Measures for the Power System of Kazakhstan Due to High Renewables, 27 Nov <b>2020</b> Ukraine IEEE ATIT <a href="https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349263">https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349263</a>	Scopus/IEEE опубликовано
<b>1.S. Zhakiyeva</b> , M. Gabbassov, <b>Y. Akhmetbekov</b> , G. Akybayeva and <b>N. Zhakiyev</b> , "The Development of a Risk Assessment Modeling for the Power System of Kazakhstan," <b>2021</b> IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465892. (indexed in IEEE, Scopus) <a href="https://doi.org/10.1109/SIST50301.2021.9465892">https://doi.org/10.1109/SIST50301.2021.9465892</a>	Scopus/IEEE опубликовано



Publications 2022	Статус
<b>Amanbek Y., Kalakova A., Zhakiyeva S.,</b> Korhan K., <b>Zhakiyev N.,</b> Fridrich D. "Distribution-LMP based Transactive Energy Management in Distribution Systems with Smart Prosumers - A Multi-Agent Approach" <b>Energies</b> (2022, <a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2404">https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2404</a> )	Scopus 85 процентиљ, WoS Q3 опубликовано
<b>B. Sarsembayev</b> , D. Zholtayev, and Ton Duc Do, Maximum Power Tracking of Variable-Speed Wind Energy Conversion Systems based on a Near-Optimal Servomechanism Control System // <i>Optimal Control Applications and Methods</i> (ISSN: 0143-2087, Q2), (Jan, <b>2022</b> ). <a href="https://doi.org/10.1002/oca.2863">https://doi.org/10.1002/oca.2863</a> опубликовано)	WoS Q2 Scopus percentile 80, Опубликовано
<b>A. Zhanbolatov, S. Zhakiyeva, N. Zhakiyev</b> , K. Kayisli (2022) "Blockchain-Based Decentralized Peer-to-Peer Negawatt Trading in Demand-Side Flexibility Driven Transactive Energy System" <i>International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)</i> , 12(3), 1475-1483. doi:10.20508/ijrer.v12i3.13195.g8530 (Cite score-3.7, Scopus percentile 58, Q2)	Scopus Опубликовано Cite score-3.7, Scopus percentile 58, Q2
<b>B. Sarsembayev, N. Zhakiyev, A. Akhmetbayev</b> and K. Kayisli, "Servomechanism based Optimal Control System Design for Maximum Power Extraction from WECS with PMSG," 2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid, june 27-29, 2022 Istanbul/Turkiye), 2022, pp. 309-313, doi: 10.1109/icSmartGrid55722.2022.9848769.	Scopus/IEEE Принята
<b>A. Zhanbolatov, N. Zhakiyev, S. Zhakiyeva, K. Kayisli, B.Azibek, T.Dushayeva.</b> "A Multi-carrier Energy Method for Self-Consumption Enhancement in Residential Buildings " in 11th international conference on renewable energy research and applications. September 18-21, 2022, Istanbul/Turkiye	Scopus/IEEE Принята
G.Ismagulova, A.Bakdolotov, B.Sarsembayev, N.Zhakiyev. Hybrid Technico-economical Modeling of the Mid-term Green Economy and Low-carbon Development Strategy of Kazakhstan (Submitted, 2022). Under review. (International Economic Association Series, ISSN 2662-6349, Springer)	



# Команда исполнителей проекта



**Нурхат Жакиев**

Руководитель проекта,  
ВНС, PhD по физике



**Айдын Бакдолотов**

СНС, магистр энергетики,  
выпускник Purdue University,  
США. Энергомоделист,  
Институт экономических  
исследований



**Бибол Жакипбаев**

СНС, PhD, инженер-технолог,  
выпускник программы  
Болашақ, МГУ, Москва.



**Баянды Сарсенбаев**

СНС, к.т.н., MSc Control and  
Systems Engineering,  
докторант Brunel University  
London.



**Аршын Жанболатов**

МНС, Инженер  
электроэнергии, выпускник  
Назарбаев Университета



**Ерасыл Аманбек**

НС, Магистр электроэнергии,  
выпускник Назарбаев  
Университета



Contact information:

Nurkhat Zhakiyev, PhD  
Department of Science and Innovation  
Astana IT University  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010000  
[nurkhat.zhakiyev@astanait.edu.kz](mailto:nurkhat.zhakiyev@astanait.edu.kz)  
+7 777-469-8612