

УДК 621.22:339.5(571.56)(510).

DOI: 10.5281/zenodo.10065941

## Интегрированные энергетические решения: оценка перспектив гидроэнергетического комплекса южной Якутии для экспорта в Северный Китай

<sup>1</sup>Бушуев Виталий Васильевич<sup>[0000-0001-9288-4699]</sup><sup>1</sup>Зайченко Виктор Михайлович<sup>[0000-0002-5979-4234]</sup><sup>1</sup>Моргунова Мария Олеговна<sup>[0000-0001-5591-3067]</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),  
г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru, zaitch@oivtran.ru,  
maymorgunova@rambler.ru

**Аннотация.** В статье исследуются перспективы развития Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса (ЮЯГЭК) и его потенциальное воздействие на энергетическую систему Северного Китая. Статья анализирует технические и экономические аспекты экспорта электроэнергии из Южной Якутии в Китай, оценивает различные варианты передачи электроэнергии и исследует вопрос покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая с использованием мощностей ЮЯГЭК. Исследование показывает, что ЮЯГЭК обладает значительным потенциалом для обеспечения электроэнергией не только своего региона, но и для экспорта в Северный Китай. Экономический анализ демонстрирует, что использование мощностей ЮЯГЭК для покрытия полупиковой нагрузки в Китае является более выгодным вариантом, чем строительство новых электростанций в Китае. Также подчеркивается важность интеграции гидроэнергетики и электроэнергетических систем для обеспечения стабильного и экологически устойчивого энергоснабжения в регионах с высоким потреблением электроэнергии. Предлагаемое сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем в области энергетики может стать важным шагом в этом направлении и способствовать обеспечению энергетической безопасности и устойчивому развитию обоих регионов.

**Ключевые слова:** энергетика, гидроэнергетический комплекс, экспорт электроэнергии, Северный Китай, устойчивое развитие.

## 1 Введение

Современное развитие энергетических систем требует стратегического подхода к удовлетворению растущего спроса на электроэнергию, а также поиска экологически устойчивых и эффективных источников энергии [1]. В этом контексте, гидроэнергетика остается одним из ключевых направлений, способствующих обеспечению стабильного и надежного электроснабжения [2].

Южно-Якутский гидроэнергетический комплекс (ЮЯГЭК) представляет собой амбициозный проект, охватывающий несколько рек региона и направленный на создание мощных гидроэлектростанций. Этот комплекс обладает потенциалом стать ключевым источником энергии не только для региона, но и для экспорта в соседние страны, в частности, в Северный Китай [3].

В настоящей статье мы проведем анализ перспектив развития ЮЯГЭК и его потенциального влияния на энергетическую систему Северного Китая. Мы рассмотрим технические и экономические аспекты экспорта электроэнергии из Южной Якутии в Китай, а также сравним различные варианты покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая с использованием мощностей ЮЯГЭК. Наш анализ позволит оценить эффективность и устойчивость такого сотрудничества в сфере энергетики между двумя регионами.

## 2 Перспективы развития Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса

ЮЯГЭК представляет собой крупнейший проект по строительству гидроэлектростанций на реках Учур, Тимптон, Алдан и Олекма. По данным Министерства энергетики РФ, ЮЯГЭК может обеспечить энергией не только Якутию, но и соседние регионы, а также экспортировать электричество в Китай и Монголию[4]. В настоящее время ведутся работы по строительству двух первых каскадов ЮЯГЭК: Средне-Учурского и Иджекского. Средне-Учурская ГЭС с Учурской буферной ГЭС будет иметь установленную мощность 3000 МВт и среднегодовую выработку 14,5 ТВт·ч. Иджекская ГЭС с Нижне-Тимптонской буферной ГЭС будет иметь установленную мощность 2000 МВт и среднегодовую выработку 9 ТВт·ч. Планируется, что эти каскады будут запущены в эксплуатацию к 2025 году.

После 2025 года планируется строительство еще трех каскадов: Верхне-Алданского, Алданского и Олекминского. Эти каскады увеличат установленную мощность ЮЯГЭК до 8300 МВт и среднегодовую выработку до 38,8 ТВт·ч. Буферные ГЭС на реках Учур, Тимптон и Алдан будут регулировать режим работы основных ГЭС и снижать воздействие на окружающую среду. ЮЯГЭК является одним из приоритетных проектов в области устойчивого развития России, так как он способствует повышению энергетической безопасности, развитию социально-экономической инфраструктуры и сотрудничеству с другими странами.

Часть электроэнергии, производимой ЮЯГЭК, будет служить делу хозяйственного освоения зоны БАМа, а другая часть может передаваться в Китай.

### 3 Особенности развития электроэнергетики Китая

Китай богат запасами минерального сырья и энергоресурсов, особенно угля и гидроресурсов, которые распределены очень неравномерно по территории Китая (рис.1). К 2020 году в Китае выработка электроэнергии увеличилась почти в 10 раз по сравнению с 1990 годом [5].

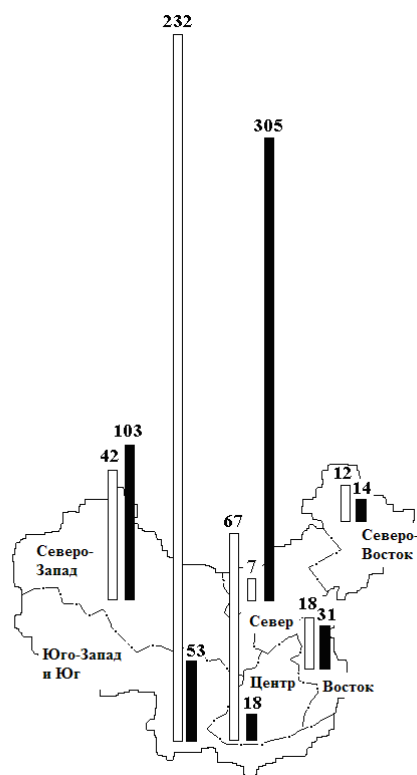


Рис. 1. Распределение запасов энергоресурсов по территории Китая, [5]:

■ - уголь, млрд. т, □ - гидроресурсы, ГВт.

Несмотря на быстрое развитие электроэнергетики Китая, темпы ее роста отстают от темпов роста экономики. Даже при наличии богатых природных запасов энергоресурсов и быстром наращивании энергетических мощностей электроэнергии не хватает во многих частях страны.

Шесть региональных энергосистем (Северо-Восточная, Северная, Восточная, Центральная, Северо-Западная и Южная) обеспечивают основную часть электроснабжения Китая (рис.2). Формирование Единой системы Китая осуществляется на базе линий напряжением 500 кВ переменного тока и  $\pm 500$  кВ постоянного тока, а после 2010 года используются следующие классы напряжения 1000 кВ переменного тока и  $\pm 800$  кВ постоянного тока.

Северо-Восточная и Северная энергосистемы Китая, наиболее близко расположенные к ОЭС Востока, являются крупными и динамично развивающимися системами [6]. Установленные мощности Северо-Восточной и Северной энергосистем, составлявшие в 1990 году для каждой из них примерно 20 ГВт, достигли в 2003 году соответственно 37,7 ГВт и 87,4 ГВт.

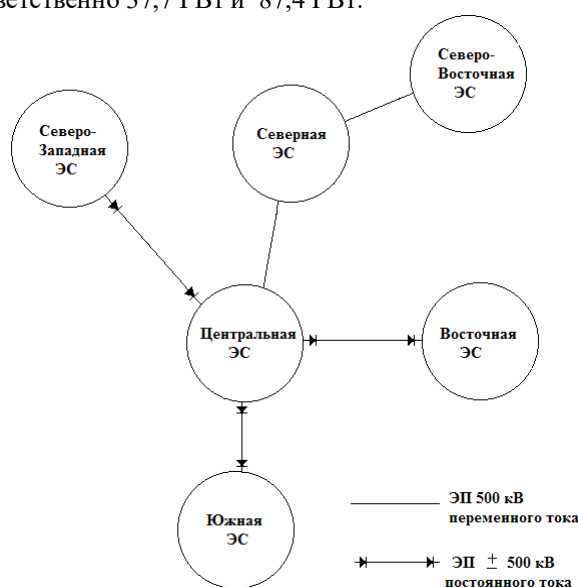


Рис. 2. Структурная схема Единой Энергосистемы Китая, [6]

Как Северо-Восточная, так и Северная энергосистема являются дефицитными по мощности и электроэнергии. Существует и другая проблема, связанная с недостаточной долей ГЭС в этих энергосистемах, что создает трудности в покрытии пиковой и полупиковой зон графика нагрузки. Установленная мощность ГЭС в Северо-Восточной энергосистеме Китая на современном этапе составляет порядка 5,8 ГВт и не превышает 15% от полной установленной мощности этой системы. В то же время доля ГЭС в среднем по Китаю составляет 25%. При этом возможности по сооружению новых ГЭС в этом регионе практически отсутствуют, так что в перспективе доля ГЭС в Северо-Восточной энергосистеме будет продолжать снижаться. Еще острее в этом отношении положение в Северной энергосистеме, в которой доля ГЭС не превышает 4%. Одним из путей, намечае-

мых в этих энергосистемах по решению проблемы покрытия пиковый и полупиковый зон графика нагрузки (2000–4000 часов) является сооружение комплексов из АЭС и ГАЭС.

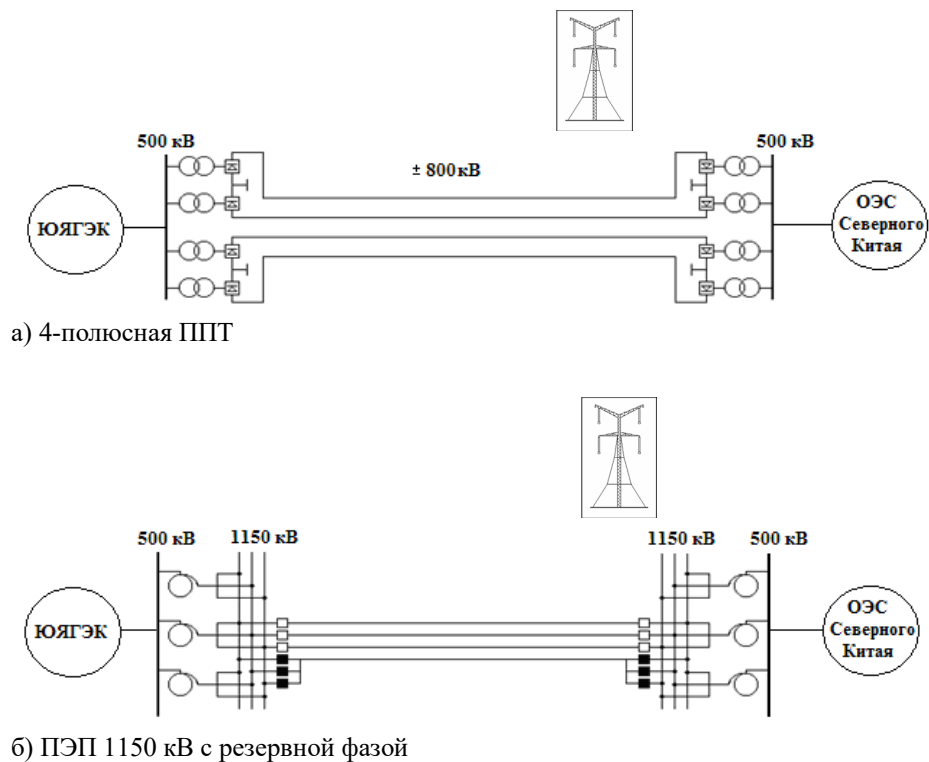
#### 4 Оценка технико-экономических показателей экспортной электропередачи ЮЯГЭК – Северный Китай

Из вышеприведенного следует, что существует благоприятная долгосрочная ситуация для экспорта электроэнергии в Китай [7]. В ОЭС Востока имеются все предпосылки для создания экспортного потенциала, соизмеримого с дефицитом мощностей ГЭС в Северо-Восточной и Северной энергосистемах Китая. Предварительно можно наметить вариант электрической связи мощностью 6000 МВт с числом часов ее использования 4000 часов, изображенный на рис.3. Протяженность связи составляет порядка 2500 км.



Рис. 3. Электрическая связь ЮЯГЭК – Северная энергосистема Китая

Для передачи намеченной мощности сопоставим варианты ППТ напряжением  $\pm 800$  кВ и ПЭП напряжением 1150 кВ [8]. На рис.4 намечены схемы ППТ и ПЭП. Основные технико-экономические показатели вариантов приведены в табл.1.



**Рис. 4.** Принципиальная схема экспортной электропередачи ЮЯГЭК – Северный Китай.

**Таблица 1.** Сопоставительный анализ надежности и технико-экономических показателей вариантов электрической связи ЮЯГЭК – Северный Китай при передаче 6000 МВт на расстояние 2500 км

Показатели		Переменный ток-1150 кВ	Постоянный ток $\pm 800$ кВ
		Схема с резервной фазой	4-полюсная схема
Конструкция фазы (полюса), мм <sup>2</sup>		8×330	4×450
КПД по энергии, %		86,6	87,0
Удельная стоимость ВЛ, тыс.\$/км		588	391
Стоимость, млн.\$	ВЛ	1470	978
	ПС	300	1500
	Всего	1770	2478
Приведенные затраты, млн.\$/год		404	582
Удельные приведенные затраты	цент/ кВт·ч	2,0	2,8
	%	72	100

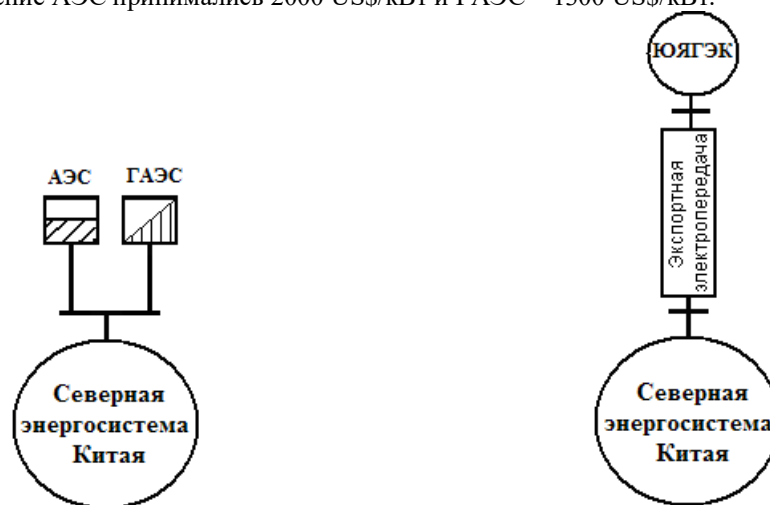
## 5 Оценка экономической эффективности различных путей покрытия полушиповой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая

Оценка экономической эффективности привлечения мощностей вновь сооружаемых ГЭС ОЭС Востока для покрытия полушиповой зоны графика нагрузки проводится путем сравнения вариантов, показанных на рис.5. В первом варианте решение проблемы покрытия полушиповой зоны графика нагрузки в Северной

энергосистеме Китая решается путем сооружения комплексов из АЭС и ГАЭС (рис.5,а).

Во втором варианте решением указанной проблемы является привлечение мощностей ЮЯГЭК с помощью мощной электропередачи (рис.5,б). При этом принимается, что в обоих вариантах обеспечивается в приемном узле выдача одинаковой мощности и годовой электроэнергии.

При определении удельных затрат на производство электроэнергии на вновь вводимых электростанциях в Китае удельные капиталовложения на сооружение АЭС принимались 2000 US\$/кВт и ГАЭС – 1300 US\$/кВт.



а) комплекс из АЭС и ГАЭС в Китае б) привлечение мощностей ЮЯГЭК.

**Рис. 5.** Возможные варианты покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая:

Для намечаемых ГЭС ЮЯГЭК удельные капиталовложения на их сооружение составляют порядка 1500 US\$/кВт. В табл.2 приведено экономическое сравнение намеченных вариантов покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая. Из данной таблицы следует, что решение проблемы покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая путем привлечения мощностей ЮЯГЭК предпочтительнее сооружения комплексов из АЭС и ГАЭС в Китае.



**Таблица 2.** Экономическое сопоставление перспективных вариантов покрытия полупииковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая

Возможные варианты покрытия полупииковой зоны графика нагрузки	Удельные приведенные затраты цент/кВт·ч		
	Производство электроэнергии	Транспорт электроэнергии	Всего
Производство электроэнергии в Северной энергосистеме Китая	14,2	-	14,2
Производство электроэнергии на вновь вводимых ГЭС ОЭС Востока	7,5	2,0	9,5

## 6 Заключение и выводы

На основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- Южно-Якутский гидроэнергетический комплекс (ЮЯГЭК) представляет собой значимый ресурс для обеспечения энергетической потребности региона и возможности экспорта электроэнергии в Северный Китай. Его потенциал в создании мощных гидроэлектростанций и обеспечении стабильного производства электроэнергии несомненно.
- Экономический анализ показывает, что привлечение мощностей ЮЯГЭК для покрытия полупииковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая более предпочтительно с точки зрения затрат, чем сооружение комплексов из атомных и гидроэлектростанций в Китае. Это может обеспечить более эффективное использование ресурсов и содействовать стабильности энергоснабжения в регионе.
- Оптимальная техническая схема для экспортной электропередачи ЮЯГЭК - Северный Китай может быть выбрана с учетом различных параметров, включая расстояние, потребность в мощности и надежность системы передачи.
- Сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем в сфере энергетики представляет собой важную перспективу для обеспечения энергетической безопасности региона и создания экономически выгодных условий для обеих сторон.

В целом, данное исследование подчеркивает важность интеграции гидроэнергетики и электроэнергетических систем для обеспечения устойчивого развития и

эффективного использования ресурсов в регионах с высоким энергопотреблением. Сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем может стать ярким примером такой интеграции, способствуя устойчивому и экологически чистому энергетическому будущему.

**Благодарность.** Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-01129-23-00)

## Литература

1. Горшкова А.А., Бушуев В.В. Новая эпоха, новая система // Энергетическая политика. 2022. № 3(162). С. 2–3.
2. Бушуев В.В. Роль гидроэнергетики в формировании ресурсной базы и энергетической инфраструктуры Евразии 2013. С. 50–51.
3. Бушуев В.В., Громов А.И., Белогорьев А.М., Мастепанов А.М. Энергетика России: постстратегический взгляд на 50 лет вперед. Москва: Издательско-аналитический центр “Энергия,” 2016.
4. Глобальный инновационный индекс 2022 года [Электронный ресурс]. . 2022 URL: [https://www.wipo.int/pressroom/ru/articles/2022/article\\_0011.html](https://www.wipo.int/pressroom/ru/articles/2022/article_0011.html) (дата обращения: 1.11.2023).
5. Бальжинов А.В., Ай В. ОСОБЕННОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ КИТАЯ // Социально-экономическое развитие России и Монголии: проблемы и перспективы. 2020. С. 37–40.
6. Зильберман С.М. О совместной работе ОЭС Сибири и Северной энергосистемы Китая // Электричество. 2008. № 11. С. 2–5.
7. Ваксова Е.И., Подковальников С.В., Соловьев Д.А., Тиматков В.В. Роль гидроэнергетических ресурсов России в перспективном развитии инфраструктурной сети и энергетических рынков Евразии // Энергетическая политика. 2016. № 6. С. 108–115.
8. Самородов Г.И., Красильникова Т.Г. Прогрессивные технологии передачи электроэнергии на переменном токе на дальние и сверхдальние расстояния // Энергетическая политика. 2013. № 5. С. 31–38.

## References

1. Gorshkova A.A., Bushuev V.V. A New Era, A New System // Energy Policy. 2022. No. 3(162). Pp. 2–3.
2. Bushuev V.V. The Role of Hydroelectric Power in Shaping the Resource Base and Energy Infrastructure of Eurasia. 2013. Pp. 50–51.
3. Bushuev V.V., Gromov A.I., Belogoryev A.M., Mastepanov A.M. Russian Energy: A Post-Strategic Look 50 Years Ahead. Moscow: Publishing and Analytical Center “Energy,” 2016.

4. Global Innovation Index 2022 [Electronic resource]. . 2022. URL: [https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2022/article\\_00111.html](https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2022/article_00111.html) (Date accessed: 1.11.2023).
5. Balzhinov A.V., Ay V. FEATURES OF THE FUEL AND ENERGY SECTOR OF CHINA'S ECONOMY // Socio-Economic Development of Russia and Mongolia: Problems and Prospects. 2020. Pp. 37–40.
6. Zilberman S.M. On the Joint Operation of the United Energy System of Siberia and the Northern Power System of China // Electricity. 2008. No. 11. Pp. 2–5.
7. Vaksova E.I., Podkovalnikov S.V., Soloviev D.A., Timatkov V.V. The Role of Russia's Hydroelectric Resources in the Prospective Development of the Infrastructure Network and Energy Markets of Eurasia // Energy Policy. 2016. No. 6. Pp. 108–115.
8. Samorodov G.I., Krasilnikova T.G. Progressive Technologies for AC Power Transmission Over Long and Ultra-Long Distances // Energy Policy. 2013. No. 5. Pp. 31–38.

## **Integrated Energy Solutions: Assessment of the Prospects of the South Yakutia Hydroelectric Complex for Export to Northern China**

Vitaliy V. Bushuev <sup>[0000-0001-9288-4699]</sup>,  
Victor M. Zaitchenko <sup>[0000-0002-5979-4234]</sup>,  
Maria O. Morgunova <sup>[0000-0001-5591-3067]</sup>

Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: [vital@guies.ru](mailto:vital@guies.ru), [zaitch@oivtran.ru](mailto:zaitch@oivtran.ru),  
[maymorgunova@rambler.ru](mailto:maymorgunova@rambler.ru)

**Abstract.** This article explores the prospects of the South Yakutia Hydroelectric Complex (SYHC) and its potential impact on the energy system of Northern China. The article analyzes the technical and economic aspects of exporting electricity from South Yakutia to China, evaluates various options for electricity transmission, and investigates the coverage of the semi-peak load in Northern China using the capacities of SYHC. The research demonstrates that SYHC has significant potential to provide electricity not only to its region but also for export to Northern China. The economic analysis indicates that utilizing SYHC's capacities to cover the semi-peak load in China is a more cost-effective option than building new power stations in China. The study also emphasizes the importance of integrating hydroelectric power and electrical systems to ensure stable and environmentally sustainable energy supply in regions with high electricity consumption. The proposed collaboration between South Yakutia and Northern

China in the field of energy could be a significant step in this direction and contribute to the energy security and sustainable development of both regions.

**Keywords:** energy, hydroelectric complex, electricity export, Northern China, sustainable development.

**Acknowledgment:** This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state assignment No. 075-01129-23-00).