

УДК: 621.316.1.05, 621.315.177

Уланова А.Р.¹, Кушнарёва Т.В.¹

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация. Для того, чтобы Россия занимала лидирующие позиции в мировой экономике, необходимо построение «умной» энергетики. Для повышения уровня надежности электроснабжения нужны новые технологии по использованию станций, основанных на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), а также новые мощности для роста энергетической и экономической эффективности отрасли. Для этого следует рассмотреть проведение воздушных линий с наиболее выгодными технико-экономическими показателями в регионах страны с недостатком электроэнергии. Даная работа посвящена разработке плана по покрытию энергодефицита районов Москвы и Московской области. Цель доклада заключается в создании линий электропередач в Центральной и Южной частях России. Были проанализированы особенности данной местности, рассмотрены преимущества и недостатки переменного и постоянного токов, а также различные виды близлежащих электростанций, конечный выбор которых обусловлен инновационностью и практической значимостью. Проведены расчеты капитальных затрат на строительство. В качестве методов исследования были использованы: анализ данных, сравнительный анализ, моделирование и математические вычисления. В результате работы смоделирована схема проведения воздушных линий электропередач высокого напряжения.

Ключевые слова: воздушные линии электропередач, постоянный ток, переменный ток, возобновляемые источники энергии, газотурбинные электростанции, атомные электростанции.

Ulanova A.R.¹, Kushnareva T.V.¹

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

FEASIBILITY STUDY OF POWER TRANSMISSION METHODS

Abstract. To build a "smart" energy system in Russia is the crucial goal of establishing the country as a leading power in the global economy. To improve the reliability of electricity supply in Russia, it is necessary to develop new technologies for renewable energy source (RES) stations and introduce new capacities. One solution is building power lines in energy-deficient regions with the best economic and technical indicators. The purpose is the creation of an energy efficient transmission line system. The selected terrain and its characteristics were analyzed, the benefits and disadvantages of alternate and direct currents were examined, and various types of nearby power plants were evaluated, with the final choice based on innovation and practical significance. Capital costs for construction were also calculated. The research methods included data analysis, comparison, modeling and mathematical calculations. As a result of the study, a schematic model for high-voltage overhead power transmission lines was developed.

Keywords: overhead transmission lines, direct current, alternate current, renewable energy source, gas turbine power plants, nuclear power plants.

Введение

На сегодняшний день электроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся отраслей промышленности. В России предполагается построение «умной» энергетики при взаимодействии государства, научного сообщества и предпринимателей с целью сохранения лидирующих позиций в мировой экономике. Необходимо повысить уровень надежности электроснабжения с помощью создания и освоения новых технологий по использованию станций, основанных на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), а также внедрения новых мощностей для роста энергетической и экономической эффективности отрасли. Для этого следует рассмотреть проведение воздушных линий (ВЛ) в энергодефицитных районах страны с наиболее выгодными технико-экономическими показателями.

Были проанализированы недостатки и преимущества постоянного (high-voltage direct current, HVDC) и переменного (high-voltage alternate current, HVAC) токов (рис. 1).



Рисунок 1. Схемы передачи электроэнергии к потребителям при использовании ЛЭП с переменным и постоянным током

В отличие от переменного тока, основным преимуществом постоянного тока является возможность передачи больших объемов электроэнергии на значительные дистанции с наименьшими потерями. В то же время использование HVDC ограничивают высокая стоимость преобразователей и фильтров для них, а также сложность построения мультитерминальной системы. К достоинствам переменного тока можно отнести беспрепятственное преобразование энергии одного напряжения в энергию другого, а также высокую надежность приемников и источников электроэнергии [1,2]. В проекте рассмотрено строительство ВЛ длиной 500 км на 1 ГВт активной мощности в Центральной и Южной частях России [3,4]. При анализе данных по передаче электроэнергии, взятых из учебных пособий, сделан вывод, что на расстоянии менее 720 км наиболее выгодно использовать ВЛ на переменном токе.

С точки зрения инновации были рассмотрены относительно новые газотурбинные электростанции (ГТЭС). На выбор в пределах Московской области имеется 3 ГТЭС: «Терёшково» (170 МВт), «Коломенская» (136 МВт), «Внуково» (90 МВт), которая была недавно выведена из эксплуатации. Из всех рассматриваемых ГТЭС по электрической мощности выигрывает «Терёшково», так как ее мощность выше всех. В планах связать «Терешково» с южной частью России для предполагаемого проведения ВЛ в сторону Белгорода, а также в перспективе связаться через «Терёшково» с Калининской АЭС для покрытия энергодефицита в северной части Москвы.

Моделирование схемы проведения воздушных линий электропередач

Станции ГТЭС «Терешково» и Курская АЭС-2 работают на разных напряжениях, а конкретно 110 кВ и 750 кВ и выше. Поэтому для корректной работы схемы требуется проведение её через несколько подстанций (ПС), а именно ПС «Чоботы», которая преобразовывает 110 кВ в 220 кВ, ПС «Пахра», повышающая напряжение до 500 кВ. Также следует установить трансформаторную ПС, которая сможет увеличить напряжение до 750 кВ [5]. На рис. 2 представлена предложенная схема проведения ВЛ.

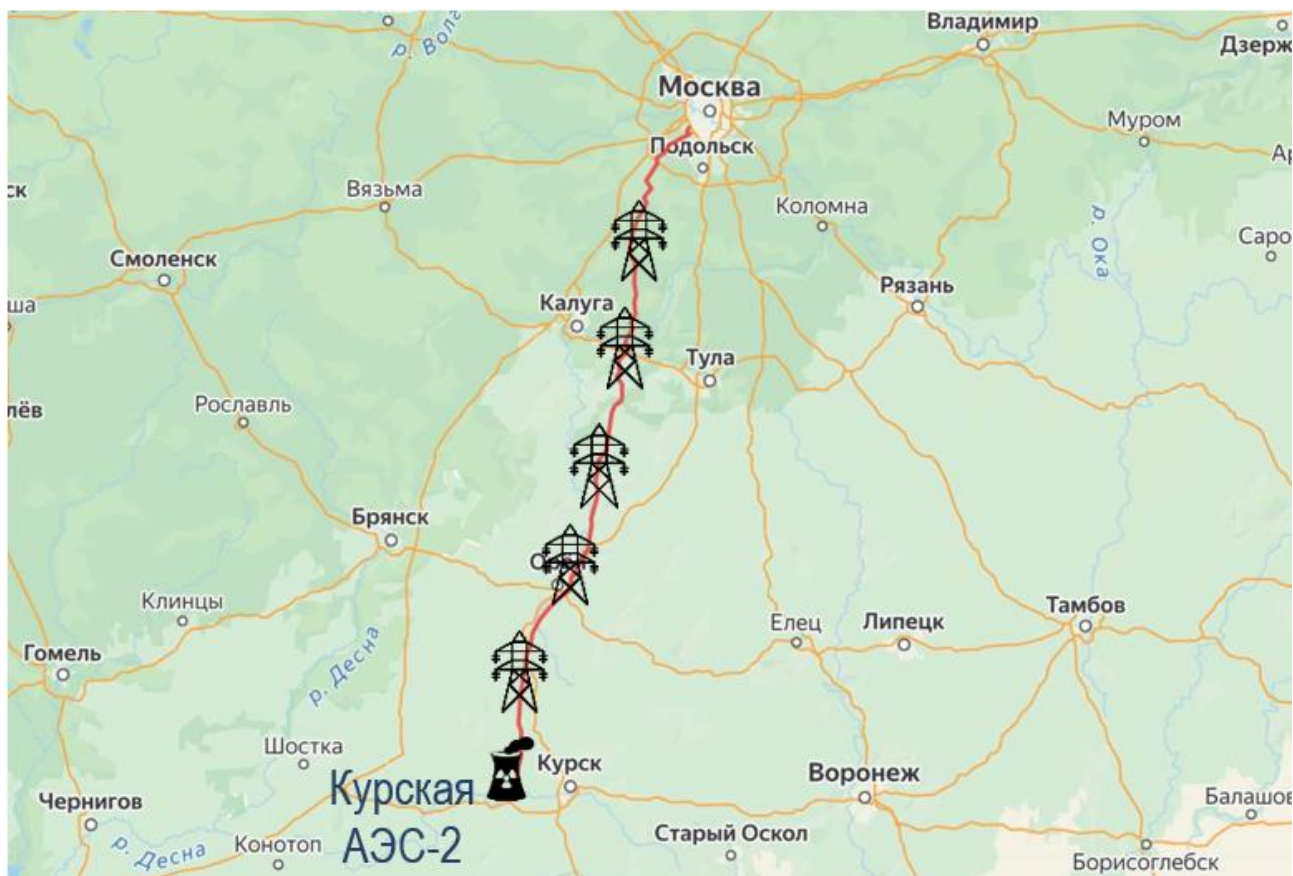


Рисунок 2. Схема проведения воздушных линий электропередач

Выбор станций обусловлен инновационностью идеи и мощностями станций. Относительно близко к выбранной «Терешково» находится ГЭС Сходнинская. Обе станции считаются экологичными, потому как на этих станциях выработка энергии происходит за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ). По табл. 1 можно увидеть, что плюсов у использования ГТЭС больше, чем у ГЭС, а также считается, что ГТЭС имеют возможность более стабильной выработки энергии.

Таблица 1

Сравнение станций на основе ВИЭ г. Москва и Московской области

Факторы сравнения	ГТЭС	ГЭС
Новизна	+	-
Стоимость э/энергии	-	+
Высокая мощность	+	-
Экологичность	+	+

Также рассмотрены наиболее энергоэффективные станции: ТЭС, ГЭС и АЭС. Иерархия станций, основанная на инновационности их использования и экологичности, обусловленной использованием ВИЭ, представлена на рис. 3.

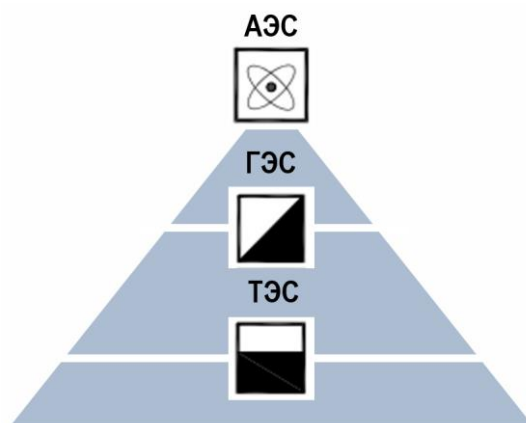


Рисунок 3. Иерархия наиболее мощных электростанций

Основываясь на совокупности этих факторов, концом пути является строящаяся станция Курская АЭС-2, имеющая проектную мощность 5020 МВт. К преимуществам такого типа станций относятся: новизна, высокий уровень экологичности, большой процент вырабатываемой электроэнергии.

Для сравнения взята Смоленская АЭС, к которой уже была проведена линия, недалеко от Терешково. Проведен анализ таких критериев, как мощность, удаленность, новизна и наличие свободной мощности. Выбор сделан в пользу Курской АЭС-2.

На представленном ниже рис. 4 обозначены возможные результаты использования Курской АЭС-2.



Рисунок 4. Результаты использования Курской АЭС-2

Количество положительных пунктов (обозначены серым цветом) намного превосходит отрицательные (обозначены оранжевым цветом).

Были рассмотрены проекты строительства объектов-аналогов. Проведены расчеты на основе планируемой линии электропередач Курская АЭС - Москва на постоянном токе протяженностью 500 км с капитальными затратами в 76,8 млрд руб. По Файбисовичу и УНЦ, сделан вывод, что линии на переменном токе экономически более выгодны, чем на постоянном [6,7]. В табл. 2 представлен проект строительства Курской АЭС-2 - Москва на переменном токе протяженностью примерно 500 км, капитальные затраты которого составляют около 70 млрд. руб.

Таблица 2

Расчет капитальных затрат на строительство ЛЭП

Подстанции и трансформаторы	17,856 млрд. руб.
Учет потерь различных показателей при передаче э/энергии	14,285 млрд. руб.
Разное (коммуникаторы, разрядники и др.)	13,713 млрд. руб.
Исследования, разработка проектной документации	5,571 млрд. руб.
Строительно-монтажные работы, установка оборудования	19,228 млрд. руб.

По таблицам, которые находятся в справочнике Файбисовича, были рассчитаны затраты на необходимое оборудование и работы по внедрению переменного тока. Также в них были представлены такие параметры, как фильтры гармоник и преобразователи, которые нужны для постоянного тока, поэтому принято решение заменить данные пункты на учет потерь различных показателей при передаче, чтобы применить это на переменном токе [8].

Вывод

Несмотря на экономическую выгоду переменного тока, происходят большие потери мощностей, а также создаются более высокие риски возникновения опасностей при передаче электроэнергии на переменном токе нежели на постоянном. В ближайшие годы в России планируется переход от передачи электроэнергии на переменном токе к постоянному на напряжении 400 кВ, как в европейских странах. Появляется проблема с импортозамещением оборудования и применением новых технологий. Активно ведутся поиск и разработка новых методов по передаче электроэнергии. питания, включая солнечные панели и химические источники энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы электротехники: учебное пособие / Е.Б. Шандарова. – Томск. – Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – с. 3-15, 82-93.
2. Электроэнергия. Передача и распределение [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Napravleniya_razvitiya_sistemy_regulirovaniya/ (дата обращения: 15.02.2025) – Режим доступа: открытый. – Текст: электронный.
3. Приказ Минэнерго России от 29.11.2024 № 2328 от «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025 - 2030 годы». [Электронный ресурс]. URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/808/Prikaz-ME-ot-29.11.2024-_2328-ob-utverzhdanii-SiPR-EES-na-2025_2030-PUBLIKATSIYA.pdf (дата обращения: 20.02.2025) – Режим доступа: открытый. – Текст: электронный.
4. Правила устройства электроустановок ПУЭ (утверждены Приказом Минэнерго России От 08.07.2002 № 204), 7-е изд. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elec.ru/viewer?url=library/direction/pue_7.pdf (дата обращения: 25.02.2025) – Режим доступа: открытый. – Текст: электронный.
5. Электрические сети энергетических систем: учебник для техникумов / В. А. Боровиков, В. К. Косарев, Г. А. Ходот. – Санкт-Петербург; Л., «Энергия», 1977. - изд. 3-е, переработанное, с. 184-202.
6. Справочник по проектированию электрических сетей /под ред. Д. Л. Файбисовича. – М. : ЭНАС, 2012.– 4-е изд., перераб. и доп. – с. 303-327.

7. Приказ Минэнерго России от 26.02.2024 № 131 «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202403010042> (дата обращения: 20.02.2025) – Режим доступа: открытый. – Текст: электронный.

8. Учет емкости линий электропередач в расчетах энергораспределения и потерь энергии в электрических сетях. - Известия вузов (Северо-Кавказский регион). Серия: Технические науки, 2008, № 3, с. 63-69.

REFERENCES

1. Theoretical foundations of electrical engineering: a textbook / E.B. Shandarova. – Tomsk. – Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2009. pp. 3-15, 82-93.

2. Electric power. Transmission and distribution [Electronic resource]. – URL: https://www.ruscable.ru/print.html?p=/article/Napravleniya_razvitiya_sistemy_regulirovaniya/ (date of access: 02.15.2025) – Access mode: open. – Text: electronic.

3. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 11.29.2024 № 2328 dated "On Approval of the Scheme and Program for the Development of Russian Electric Power Systems for 2025-2030". [electronic resource]. URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/808/Prikaz-ME-ot-29.11.2024-_2328-ob-utverzhenii-SiPR-EES-na-2025_2030-PUBLIKATSIYA.pdf (date of access: 02.20.2025) – Access mode: open. – Text: electronic.

4. Rules for the installation of PUE electrical installations (approved by Order of the Ministry of Energy of Russia Dated 08.07.2002 № 204), 7th ed. [electronic resource]. URL: https://www.elec.ru/viewer?url=library/direction/pue_7.pdf (date of access: 02.25.2025) – Access mode: open. – Text: electronic.

5. Electrical networks of energy systems: a textbook for technical schools / V. A. Borovikov, V. K. Kosarev, G. A. Khodot. – St. Petersburg; L., "Energy", 1977. - 3rd ed., revised, pp. 184-202.

6. Handbook on the design of electrical networks / edited by D. L. Faybisovich. Moscow: ENAS, 2012. 4th ed., revised. and additional – pp. 303-327.

7. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 02.26.2024 № 131 "On approval of consolidated price standards for standard technological solutions for capital construction of electric power facilities in terms of electric grid facilities". [electronic resource]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202403010042> (date of access: 02.20.2025) – Access mode: open. – Text: electronic.

8. Accounting for the capacity of power transmission lines in calculations of energy distribution and energy losses in electric networks. - Izvestiya vuzov (North Caucasian Region). Series: Technical Sciences, 2008, No. 3, pp. 63-69.

Информация об авторах

Уланова Анастасия Руслановна – студент кафедры «Электроснабжение и электротехника», Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: ulanova.anas@mail.ru

Кушнарёва Татьяна Валериановна – старший преподаватель кафедры иностранных языков №2, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: 030470@list.ru

Information about the Authors

Anastasia Ruslanovna Ulanova – student, Department of Power Supply, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: ulanova.anas@mail.ru

Tatiana Valerianovna Kushnareva – Senior Lecturer of the Foreign Languages Department №2, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: 030470@list.ru