

УДК: 621.311

DOI: 10.65599/ENG9951

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СЕТИ 110 кВ ДАРХАН — БУГАНТ¹У. Бумцэнд, ²Дж.С. Ахъёев, ¹И. Хишигбаяр, ¹А. Далай¹Технологический институт в г. Дархан-Уул, Монгольский государственный университет науки и технологий, Дархан, Монголия²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе проведено исследование режимов эксплуатации воздушной линии электропередачи 110 кВ «Дархан-Бугант» - стратегически значимого узла Центральной электроэнергетической системы Монголии, обеспечивающего электроснабжение промышленных и социально-бытовых потребителей аймака Сэлэнгэ. Проанализировано влияние природно-географических условий на конфигурацию сети: установлено, что трасса линии проходит через лесные массивы (20,4 %), сельскохозяйственные угодья (31 %) и степные зоны (49,6 %), что косвенно определяет эксплуатационные особенности инфраструктуры. Исследовано поведение сети в характерных режимах нагрузок: выявлено, что в зимний максимум наблюдаются рост потерь активной мощности и выход показателей напряжения за нормативные пределы, а в режимах минимальных нагрузок - избыточная генерация реактивной мощности из-за зарядной ёмкости линии. Изучено распределение мощностей и уровней напряжения в узлах сети на основе фактических данных замеров за 2024–2025 гг.; для расчётов использован программный комплекс DIgSILENT PowerFactory с применением метода Ньютона-Рафсона как наиболее эффективного для расчёта установившихся режимов. Определено, что суммарные потери мощности в сети достигают 5,65 % от общей передаваемой мощности; детально структурированы составляющие потерь по элементам сети - линиям электропередачи и трансформаторам. Установлено несоответствие фактических значений коэффициента реактивной мощности нормативным требованиям: анализ потокораспределения выявил избыточный переток реактивной мощности от подстанции «Тумуртэй» в сеть, что дестабилизирует режим работы. Сформировано несколько технических сценариев повышения энергоэффективности: рассмотрено увеличение сечения проводов (в том числе применение марок АС-70 и АС-120) и установка шунтирующих реакторов мощностью 2×3 Мвар на шинах низкого напряжения подстанции «Тумуртэй». Предложено комбинированное управление U-Q как рациональное решение для ограничения перенапряжений и обеспечения статической устойчивости режима; разработаны расчётные модели для оценки эффективности каждого сценария, включая сравнение уровней напряжения и объёмов потерь. Обоснована экологическая значимость снижения технических потерь: с учётом коэффициента эмиссии энергосистемы Монголии (0,9 кг CO₂/кВт·ч) ежегодная экономия электроэнергии в размере 80 760 кВт·ч позволяет сократить выбросы CO₂ на 72,7 тонны в год - эффект сопоставлен с поглощающей способностью примерно 3300 взрослых деревьев.

Ключевые слова: напряжение, реактивная мощность, сеть, анализ, режим.**ТАҲЛИЛИ РЕҶАҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ ШАБАКАҲОИ 110 кВ ДАРХАН–БУГАНТ**¹У. Бумтсэнд, ²Ҷ.С. Ахъёев, ¹И. Хишигбаяр, ¹А. Далай¹Донишгоҳи давлатии илм ва технологияи Муғулистон, донишқадаи технологии Дархан²Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола реҷаҳои кори хатти барқи ҳавоӣ 110 кВ «Дархан–Бугант» – шохаи стратегӣ дар Системаи электроэнергетикии Муғулистон, ки истеъмолкунандагонӣ саноатӣ ва маишӣ минтақаи Селенгеро бо барқи таъмин мекунад, мавриди таҳқиқ қарор гирифтаанд. Таъсири шароити табиӣ ва ҷуғрофӣ ба конфигуратсияи шабака таҳлил шудааст: муайян гардид, ки хатсайри хати интиқоли барқ тавассути минтақаҳои ҷангалзор (20,4 %) меғузарад, заминҳои кишоварзӣ (31 %) ва майдонҳои даштӣ (49,6 %), ки ин ба таври ғайримустақим хусусиятҳои кори инфрасохторро муайян мекунад. Таҳлили кори шабака дар шароити маъмулӣ реҷаҳои бори истеъмолкунандагон омӯхта шуд: маълум шуд, ки дар давраи зимистон талафоти тавоноии ғайрифаъл аз ҳисоби хатти интиқоли барқ аз ҳад зиёд аст. Тақсими тавоноҳои ва сатҳи шиддати дар нуктаҳои шабака бар асоси маълумоти воқеии ҷанкунии соли 2024–2025 таҳлил карда шуд; барои ҳисобҳои барномаи комплекси DIgSILENT PowerFactory истифода шуд, ки дар он усули Нютон–Рафсон ҳамчун муассиртарин барои ҳисоби реҷаҳои муқарраршуда татбиқ гардид. Муайян карда шуд, ки талафоти умумии тавоноӣ дар шабака ба 5,65 %-и тавоноии умумии интиқоли барқ баробар аст; ҷузъҳои ин талафот ба таври муфассал аз рӯи унсурҳои шабака – хатҳои интиқоли барқ ва трансформаторҳо – ҷудо карда шудаанд. Муайян шуд, ки қимати воқеии коэффитсиенти тавоноии ғайрифаъл ба талаботи меъёрӣ мувофиқат намекунад, таҳлили тақсими тавоноӣ нишон дод, ки тавоноии ғайрифаъл аз зеристгоҳи «Тумуртэй» аз ҳад зиёд ба шабака ҷорӣ мешавад, ки реҷаи кориро номуътадил мегардонад. Якҷанд сценарияи техникӣ барои беҳтар кардани самаранокии энергетикӣ таҳия шудаанд, ки афзоиш додани ғафсии ноқилҳо (аз ҷумла истифодаи тамғаҳои АС-70 ва АС-120) ва насби реакторҳои шунткунанда бо иқтидори 2×3 Мвар дар таҳтасимҳои шиддати пасти зеристгоҳи «Тумуртэй». Назорати комбинатсионии нишондиҳандаҳои U–Q ҳамчун ҳалли оқилона барои маҳдуд кардани фузуншиддати ва таъмини устувории статикӣ реча пешниҳод шуда, моделҳои ҳисоббарорӣ барои арзёбии самаранокии ҳар як сценария, аз ҷумла муқоисаи сатҳҳои шиддат ва сатҳҳои талафот, таҳия шудаанд. Аҳамияти экологӣ дар қоҳиш додани талафоти техникӣ нишон дода шудааст, бо дарназардошти зарифи ихроҷи системаи энергетикӣ Муғулистон (0,9 кг CO₂/кВт·соат) ва сарфаи солони барқ ба миқдори 80 760 кВт·соат имкон

медиад, ки партоби CO₂ дар як сол 72,7 тонна кам шавад, ки ба иқтисоди нигохдории карбон тақрибан 3 300 дарахти калон баробар аст.

Калидвожаҳо: шиддат, тавоноии реактивӣ, шабака, таҳлил, реча.

ANALYSIS OF THE 110 KV ELECTRICAL GRID OPERATING MODES: DARKHAN – BUGANT

¹U. Bumtsend, ²J.S. Ahyoev, ¹I. Khishigbayar, ²A. Dalai

¹Darkhan-Uul Institute of Technology, Mongolian National University of Science and Technology, Darkhan, Mongolia

²Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The paper studies the operating modes of the 110 kV Darkhan-Bugant overhead power line, a strategically important hub of the Central Electric Power System of Mongolia, providing electricity to industrial and social consumers in Selenge aimag. The influence of natural and geographical conditions on the network configuration is analyzed: it is established that the line route passes through forests (20.4%), agricultural lands (31%) and steppe zones (49.6%), which indirectly determines the operational features of the infrastructure. The behavior of the network under typical load conditions is investigated: it is revealed that during the winter maximum, an increase in active power losses and voltage indicators beyond the regulatory limits are observed, and in minimum load modes, excess reactive power generation is due to the charging capacity of the line. The distribution of powers and voltage levels in the network nodes is studied based on actual measurement data for 2024-2025. The DIGSILENT PowerFactory software package was used for calculations using the Newton-Raphson method, as the most effective for calculating steady-state modes. It was determined that the total power losses in the network reach 5.65% of the total transmitted power; the components of losses by network elements - power lines and transformers - were structured in detail. A discrepancy between the actual values of the reactive power factor and the regulatory requirements was established: the flow distribution analysis revealed an excess flow of reactive power from the Tumorkey substation to the network, which destabilizes the operating mode. Several technical scenarios for improving energy efficiency were developed: an increase in the cross-section of wires (including the use of AC-70 and AC-120 brands) and the installation of shunt reactors with a capacity of 2x3 Mvar on the low-voltage buses of the Tumorkey substation were considered. Combined U-Q control was proposed as a rational solution for limiting overvoltages and ensuring static stability of the mode; Calculation models were developed to evaluate the effectiveness of each scenario, including a comparison of voltage levels and loss volumes. The environmental significance of reducing technical losses was substantiated: taking into account the emission factor of the Mongolian power system (0.9 kg CO₂/kWh), annual electricity savings of 80,760 kWh allow for a reduction in CO₂ emissions by 72.7 tons per year - the effect is comparable to the absorption capacity of approximately 3,300 mature trees.

Keywords: voltage, reactive power, network, analysis, mode.

Введение

Обеспечение надежной и устойчивой работы современных энергетических систем, а также минимизация технических потерь в электросетях являются основополагающими факторами повышения технико-экономической эффективности энергетического сектора. Воздушная линия электропередачи 110 кВ направления «Дархан-Бугант», являющаяся важным узлом Центральной электроэнергетической системы Монголии, представляет собой стратегически значимую инфраструктуру, обеспечивающую растущие потребности горнодобывающей промышленности, производственных предприятий и социально-бытовых потребителей региона [1-2].

Особенностью линии направления «Дархан-Бугант» является преимущественное электроснабжение крупных промышленных объектов горнорудного сектора, что обуславливает значительную волатильность графиков нагрузки. В периоды зимнего максимума нагрузок наблюдаются существенный рост потерь активной мощности и выход показателей качества напряжения за пределы нормативных допусков. Напротив, в режимах минимальных нагрузок проявляется эффект избыточной генерации реактивной мощности за счет зарядной емкости линии, что приводит к недопустимому повышению уровней напряжения и дестабилизации режима работы сети. В связи с этим проведение комплексного анализа параметров напряжения, распределения мощностей и величин технических потерь в узлах данной сети является актуальной задачей, результаты которой необходимы для обоснованного перспективного планирования и оптимизации режимов эксплуатации [3-4].

Постановка задачи

Объект исследования и исходные данные

Линия электропередачи 110 кВ «Дархан-Бугант», находящаяся в ведении Центрального филиала АО «Национальная электрическая сеть Монголии», расположена на территории аймака Сэлэнгэ. Регион характеризуется разнообразными природно-географическими условиями, относящимися к зоне резко континентального климата и лесостепного переходного пояса. В

частности, трасса линии проходит на 20,4% через лесные массивы, на 31% - через сельскохозяйственные угодья и на 49,6% - через степные зоны [5]. По всей протяженности линии через ответвления осуществляется электроснабжение потребителей сомонов Бугант, Худэр, Тосгон и Ероо аймака Сэлэнгэ, а также ряда золотодобывающих приисков, рудников и горно-обогачительных комбинатов. Несмотря на среднюю протяженность, данная линия классифицируется как малонагруженная.

Для расчета установившихся режимов электропередающей сети 110 кВ направления Ероо использовались следующие исходные данные: принципиальные электрические схемы, фактические данные замеров нагрузок за период 2024–2025 гг., а также технические характеристики и типы установленного электрооборудования. График годовой нагрузки представлен на Рисунке 1.

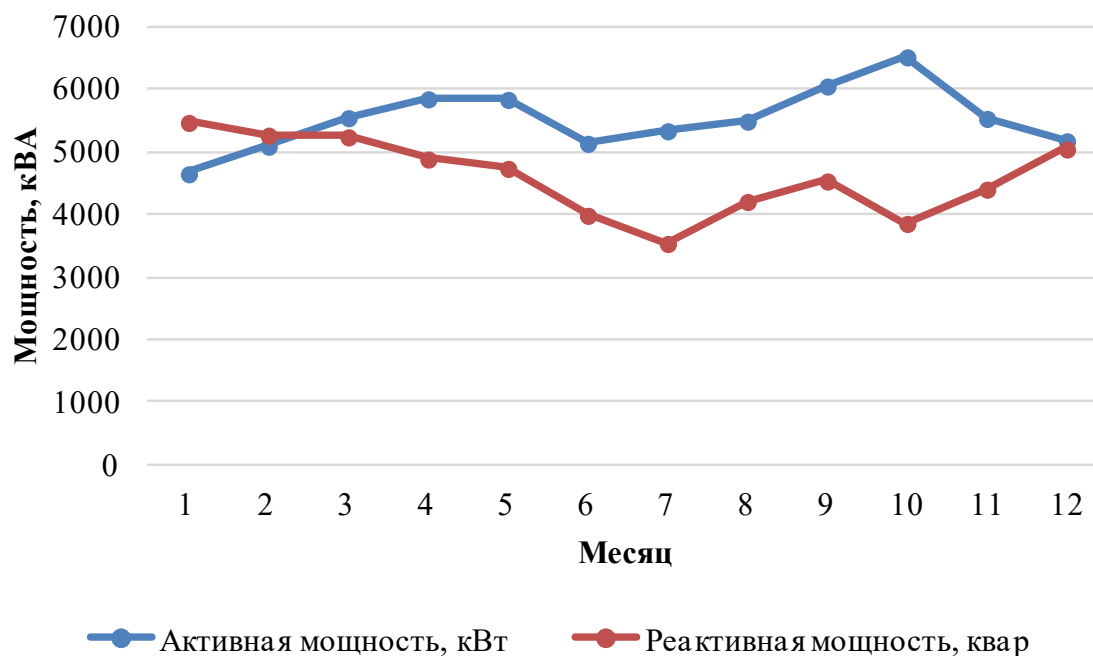


Рисунок 1 – График нагрузки электрической сети 110 кВ «Дархан-Бугант»
Figure 1 – Load Profile of the 110 kV Darkhan–Bugant Power Network

Методология исследования и программное обеспечение

При расчете установившихся режимов электроэнергетических систем на практике широко применяются такие классические методы, как метод Ньютона-Рафсона и метод Гаусса-Зейделя. Используемый в данной работе программный комплекс DIgSILENT PowerFactory поддерживает несколько математических методов расчета режимов, однако основным и наиболее эффективным является метод Ньютона-Рафсона [6-7].

Расчет установившегося режима (потокораспределения) выполняется для достижения трех основных целей:" [8-9]:

- Определение уровней напряжения на шинах узлов сети;
- Определение степени загрузки силового оборудования;
- Определение потерь мощности и электроэнергии в элементах сети.

На основе данных измерений зимнего максимума нагрузок Центрального филиала за 2024–2025 гг. были произведены расчеты напряжений в узлах уровней загрузки оборудования и величин технических потерь мощности в сети направления «Дархан-Бугант».

В целях обеспечения конфиденциальности схемы, модель электрической сети, интегрированная в программную среду, представлена в упрощенном виде на Рисунке 2.

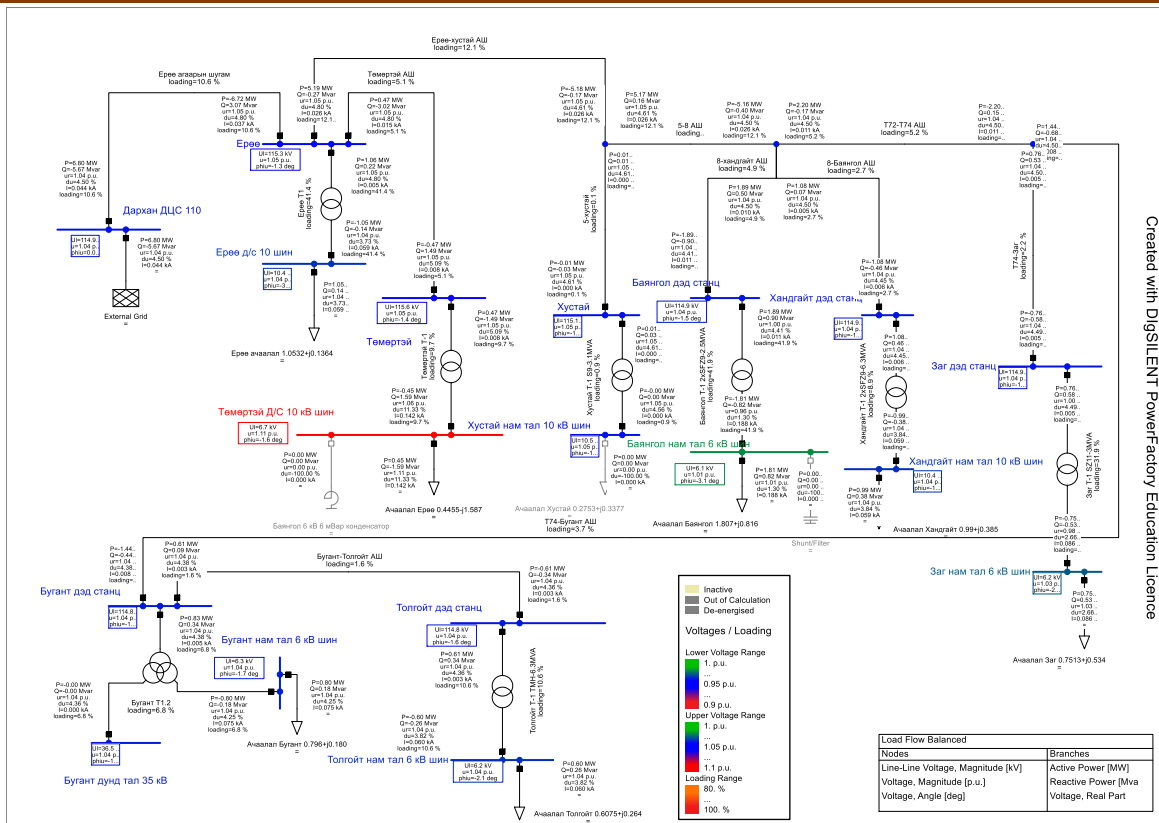


Рисунок 2 – Визуализация расчетной модели режима зимнего максимума нагрузок в программной среде
Figure 2 – Visualization of the Calculated Model for the Winter Peak Load Operating Condition in the Software Environment

Результаты расчета режима

По результатам расчета установившегося режима для текущих условий эксплуатации суммарные потери мощности в сети составили кВА, что соответствует 5,65% от общей передаваемой мощности. Структура возникших потерь с разделением по линиям электропередачи и трансформаторам представлена на Рисунке 3.

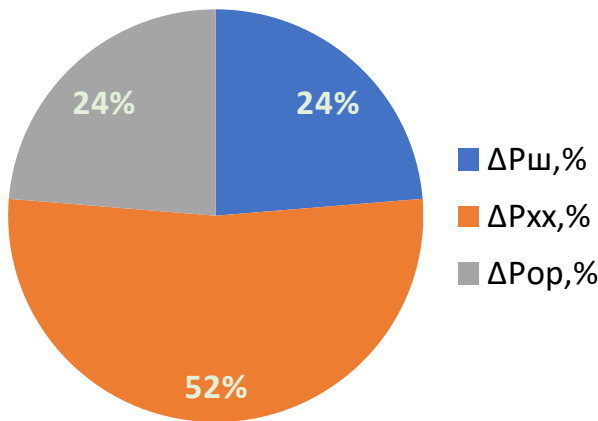


Рисунок 3 – Результаты базового расчета (исходное состояние системы)
Figure 3 – Results of the Base-Case Calculation (Initial System State)

Учитывая, что протяженность линии «Дархан-Бугант» до первой подстанции составляет 68 км, что охватывает большую часть данной сети, как вариант была рассмотрена возможность повышения энергоэффективности за счет увеличения сечения проводов. Результаты оценки потенциальной экономии электроэнергии приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета при использовании провода марки AC-120 (без подключения шунтирующего реактора)
Table 1 – Results of the Power Flow Calculation Using an AC-120 Conductor (Without a Shunt Reactor)

Виды потерь мощности	$\Delta S_{сети}$	$\Delta S_{лэн}$	$\Delta S_{мп}$	ΔS_{xx}
Доля потерь активной мощности, кВт	319,8	23,7	343,5	52,6
Доля потерь полной мощности от общей передаваемой, %	5,21			

Значения отклонения напряжения, являющегося одним из показателей качества электроэнергии, в узлах данной сети превышают нормально допустимые нормы (Рис. 4). В связи с этим возникает необходимость проведения анализа напряжения.

Анализ уровней напряжения

Согласно результатам расчета режима зимнего максимума нагрузок, полная нагрузка сети составила $P=6,4$ МВт и $Q=0,7$ Мвар. Потери активной мощности составили 0,6 МВт, а потери реактивной мощности – 6,1 Мвар, что свидетельствует о значительном избытке реактивной мощности в сети. Потребляемая мощность из сети составила $P=7,0$ МВт и $Q=8,9$ Мвар, что подтверждает недостаточную регулировку реактивной мощности в данном режиме.

Результаты расчета также выявили следующие показатели уровней напряжения:

- Максимальное напряжение: 122,87 кВ
- Минимальное напряжение: 113,52 кВ

	nom.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0	+5	+10
Баянгол дэд станц	110.00	1.038	114.17	-1.75					
Баянгол нам тал 6 кВ шин	6.00	1.007	6.04	-3.36					
Бугант дунд тал 35 кВ	35.00	1.037	36.31	-1.80					
Бугант дэд станц	110.00	1.038	114.14	-1.81					
Бугант нам тал 6 кВ шин	6.00	1.036	6.22	-2.00					
Дархан ДЦС 110	110.00	1.045	114.95	0.00					
Ерөө	110.00	1.042	114.60	-1.51					
Ерөө д/с 10 шин	10.00	1.031	10.31	-3.84					
Заг дэд станц	110.00	1.039	114.26	-1.72					
Заг нам тал 6 кВ шин	6.00	1.020	6.12	-3.19					
Толгойт дэд станц									
Grid: тооцоо System Stage: тооцоо Study Case: 04 With load ubul Annex: / 2									
	nom.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	[kV]	[deg]	-10	-5	Voltage - Deviation [%] 0	+5	+10
Толгойт нам тал 6 кВ шин	110.00	1.037	114.12	-1.82					
Төмөртэй	6.00	1.032	6.19	-2.34					
Төмөртэй д/с 10 кВ шин	110.00	1.045	114.93	-1.63					
Төмөртэй д/с 10 кВ шин	6.00	1.107	6.64	-1.81					
Хандгайт дэд станц	110.00	1.038	114.22	-1.73					
Хандгайт нам тал 10 кВ шин	10.00	1.032	10.32	-2.10					
Хустай	110.00	1.040	114.39	-1.65					
Хустай нам тал 10 кВ шин	10.00	1.039	10.39	-1.65					

Рисунок 4 – Фактические значения узловых напряжений по результатам базового расчета
Figure 4 – Actual Bus Voltage Values Obtained from the Base-Case Calculation

Данные показатели превышают верхний предел допустимого диапазона $\pm 5\%$ (1,117 о.е. > 1,05 о.е.), при этом тенденция к чрезмерному повышению напряжения проявляется преимущественно в узлах с преобладанием длинных линий при режимах малых нагрузок. Есть основания полагать, что это является следствием доминирующего влияния зарядной емкости линий электропередачи [7-9].

Согласно положениям пунктов 1.8.37–1.8.39 главы 1.8 Правил технической эксплуатации, коэффициент мощности потребителей электрической энергии в зависимости от уровня напряжения должен составлять, как правило, не менее 0,9–0,95 [9-11]. В соответствии с этим, коэффициент реактивной мощности сети также должен поддерживаться на надлежащем уровне в зависимости от класса напряжения, как показано в Таблице 2. В нормальных режимах эксплуатации допускаются колебания значений ($\text{tg}\phi$ и $\cos\phi$) в интервале.

Таблица 2 – Допустимые пределы коэффициента реактивной мощности

Table 2 – Permissible Limits of the Reactive Power Factor

Уровень напряжения в точке присоединения потребителя электрической энергии	Максимальное значение коэффициента реактивной мощности в период суточного максимума нагрузки в электрической сети, $\text{tg}\varphi$	Соответствующий коэффициент $\cos\varphi$
110 кВ	0,50	0,89
35 кВ	0,40	0,93
6 - 20 кВ	0,40	0,93
0,4 кВ (380В)	0,35	0,94

Любой потребитель электрической энергии заключает договор с энергоснабжающей организацией и в рамках выполнения условий договора обязуется соблюдать следующие требования [12-14]:

- Соблюдение режимов электропотребления: Строгое соблюдение установленных режимов потребления (или выработки) электроэнергии, зафиксированных в договоре и технических условиях на присоединение к сети.

- Обеспечение показателей качества электроэнергии: Поддержание показателей качества электрической энергии на границе балансовой принадлежности в соответствии со стандартными требованиями в процессе эксплуатации собственных сетей и электроустановок. В частности, обеспечение устойчивого поддержания надлежащего соотношения активной и реактивной мощностей (коэффициентов $\text{tg}\varphi$ эсвл $\cos\varphi$) для объекта в целом и отдельных энергоустановок на уровнях, определенных договором.

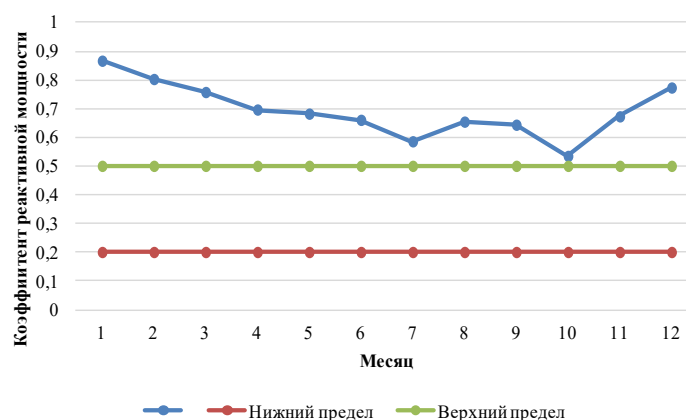


Рисунок 5 – Коэффициент реактивной мощности линии «Дархан-Бугант»

Figure 5 – Reactive Power Factor of the Darkhan-Bugant Line

Передающая сеть «Дархан-Бугант» характеризуется постоянными колебаниями потребления и генерации реактивной мощности. В ряде случаев она функционирует в режиме генератора, выдавая реактивную мощность в сеть, в то время как в других ситуациях наблюдается ее значительное потребление.

На рисунке 5 представлено сравнение фактического коэффициента реактивной мощности электрической сети «Дархан-Бугант» с нормативными значениями. Из приведенного графика видно, что коэффициент реактивной мощности не соответствует установленным нормам. Анализ результатов расчета установившегося режима, в частности потокораспределения реактивной мощности и фактических значений узловых напряжений, показывает наличие избыточного перетока реактивной мощности от подстанции «Тумуртэй» в сеть.

В связи с этим признано целесообразным рассмотреть установку реакторов мощностью 2х3 Мвар на шинах низкого напряжения данной подстанции, после чего был произведен повторный расчет режима. Расчеты выполнялись как варианты для двух сценариев: до и после замены головного участка линии на провод марки АС-120. Сводные результаты данных вариантов представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты расчета при использовании провода AC-70 с подключенным реактором

Table 3 – Calculation Results Using an AC-70 Conductor with a Connected Reactor

Виды потерь мощности	$\Delta S_{сети}$	$\Delta S_{лн}$	$\Delta S_{мп}$	$\Delta S_{хх}$
Доля потерь активной мощности, кВт	392,7	33,4	66,6	42,8
Доля потерь полной мощности от общей передаваемой, %	5,42			

Таблица 4 – Результаты расчета при использовании провода марки AC-120 с подключенным реактором

Table 4 – Calculation Results Using an AC-120 Conductor with a Connected Reactor

Виды потерь мощности	$\Delta S_{сети}$	$\Delta S_{лн}$	$\Delta S_{мп}$	$\Delta S_{хх}$
Доля потерь активной мощности, кВт	354,2	26,4	73,6	47,4
Доля потерь полной мощности от общей передаваемой, %	4,92			

На Рисунке 6 представлен график сравнения уровней напряжения до и после установки реактора.

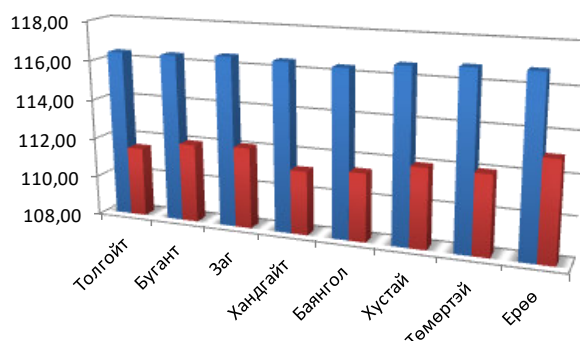


Рисунок 6 – Сравнительный график уровней напряжения до (синие) и после (красные) установки реактора

Figure 6 – Comparative Graph of Voltage Levels Before (Blue) and After (Red) Reactor Installation

Если до установки реактора значения отклонения напряжения находились в диапазоне 3,20–6,19 %, то после применения компенсирующего устройства они снизились до 1,37–2,73 %, что обеспечило общее улучшение уровня напряжения в среднем на 4 %.

Оценка экологической эффективности

Снижение технических потерь в энергосистеме, помимо прямого экономического эффекта, имеет высокую экологическую значимость, выражающуюся в сокращении выбросов парниковых газов. Учитывая, что более 90% электроэнергии в Монголии вырабатывается угольными тепловыми электростанциями, оценку энергосбережения необходимо проводить в прямой корреляции с выбросами диоксида углерода.

В данном исследовании в качестве нормативного справочника был использован коэффициент эмиссии энергосистемы Монголии ($EF = 0,9 \text{ кг CO}_2 / \text{кВт}\cdot\text{ч}$), утвержденный в рамках “Механизма чистого развития” Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Расчеты показали, что ежегодная экономия электроэнергии в размере 80 760 кВт·ч, достигнутая в результате модернизации сети, позволяет сократить выбросы CO_2 в атмосферу на 72,7 тонны в год. Для сопоставления экологического эффекта с естественным восстановлением природы было установлено, что данный объем сокращения выбросов эквивалентен поглощающей способности примерно 3300 взрослых деревьев (при среднем показателе поглощения 22 кг CO_2 на одно дерево в год).

Заключение

На основании анализа режимов и оценки эффективности технической модернизации электропередающей сети 110 кВ «Дархан-Бугант» сделаны следующие выводы:

- После установки компенсирующего устройства при использовании провода марки AC-70 потери активной мощности составляли 392,70 кВт (5,42 %), а при замене провода на AC-120 данный

показатель снизился до 354,24 кВт (4,92 %). Это подтверждает возможность снижения потерь мощности в период максимума нагрузок на 38,46 кВт, что соответствует снижению относительных потерь на 0,50 %.

- Расчеты показали, что увеличение сечения проводника позволяет достичь среднегодовой экономии электроэнергии в размере 80 760 кВт·ч. При оценке по среднему тарифу (265 тугриков/кВт·ч) прямой экономический эффект составит 21,40 млн тугриков в год.

- Результаты моделирования выявили, что максимальное напряжение в узлах сети достигает 122,87 кВ (1,117 о.е.), что существенно превышает допустимые пределы. Установка шунтирующих реакторов мощностью 2х3 Мвар на стороне 10 кВ подстанции «Тумуртэй» с применением комбинированного управления U-Q признана наиболее рациональным решением для ограничения перенапряжений и обеспечения статической устойчивости режима.

- Снижение потерь электроэнергии позволяет сократить выбросы диоксида углерода на 72,7 тонны в год. С точки зрения воздействия на окружающую среду данный экологический эффект эквивалентен поглощающей способности 3300 деревьев, высаживаемых ежегодно.

Рецензент: Киргизов А.К. — к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ПНПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Цолмон, Н. Система «зелёной» энергетики Монголии, развитие энергосбережения и эффективности: отчёт о результатах деятельности и программ Глобального института зелёного роста (GGGI) в энергетическом секторе Монголии / Н. Цолмон, С. Дэрэкэ Сэншо. – Улан-Батор, 2020.
2. Содномдорж, Д. Режимы электрических систем / Д. Содномдорж. – Улан-Батор: Изд-во ШУТИС (МГТУ), 2005. – 350 с.
3. Национальное агентство по метеорологии и мониторингу окружающей среды Монголии. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://namem.gov.mn/> (дата обращения: 20.04.2026).
4. PowerFactory 2026. Integrated Power System Analysis Software. User Manual / DIgSILENT GmbH. – 2026.
5. Bergen, A. R. Power Systems Analysis / A. R. Bergen, V. Vittal. – 2nd Edition. – Prentice-Hall, 2000. – ISBN 0-13-691910-3. (Оригинал: 1986).
6. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети: учебное пособие / А. В. Лыкин; под ред. П. И. Бартоломея. – Новосибирск: НГТУ, 2006. – 254 с. – ISBN 5-98704-055-8.
7. Ахьеев, Д. С. Оптимизация режимов работы городских электрических сетей / Д. С. Ахьеев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 40–44.
8. Развитие электроэнергетической системы после электрификации железной дороги / У. Бумцэнд, Д. Д. Давлатшоев, Д. С. Ахьеев [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 1(53). – С. 24–30.
9. Джуразода, Ш.Д. Инструментальная оценка качества электрической энергии в южных электрических сетях Республики Таджикистан / Ш. Д. Джуразода, М. К. Джаборов, З. Х. Хабибуллозода, М. М. Вохидов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 1(69). – С. 5–16.
10. Bumtsend, U. Optimization of electric power system modes by methods of artificial intelligence / U. Bumtsend, S. Kokin, N. Djagarov et al. // Proceedings of the 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). – Prague, Czech Republic, 2020. – Pp. 1–4. – DOI: 10.1109/EPE51172.2020.9269195.
11. Манусов, В. 3. Анализ и оптимизация режимов электроэнергетической системы Монголии с учётом электрификации Улан-Баторской железнодорожной магистрали / В. 3. Манусов, У. Бумцэнд, Э. Энхсайхан // Новое в российской электроэнергетике. – 2017. – № 10. – С. 55–66.
12. Оценка статической устойчивости электроэнергетической системы с учётом электрификации железной дороги / У. Бумцэнд, Д. С. Ахьеев, М. Х. Сафаралиев [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 1(57). – С. 5–11.
13. Закон Монголии об энергетике. Правила пользования электрической энергией. – Улан-Батор, 2001.
14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание 7. – М.: КноРус, 2023. – 488 с.

References

1. Tsolmon, N. Mongolia's Green Energy System, Development of Energy Saving and Efficiency: A Report on the Results of the Global Green Growth Institute (GGGI) Activities and Programs in the Mongolian Energy Sector / N. Tsolmon, S. Dereké Sensho. - Ulaanbaatar, 2020.
2. Sodnomdorj, D. Electric System Modes / D. Sodnomdorj. - Ulaanbaatar: SHUTIS Publishing House (MSTU), 2005. - 350 p.

3. National Agency for Meteorology and Environmental Monitoring of Mongolia. - [Electronic resource]. - URL: <https://namem.gov.mn/> (date of access: 20.04.2026).
4. PowerFactory 2026. Integrated Power System Analysis Software. User Manual / DlgSILENT GmbH. – 2026.
5. Bergen, A. R. Power Systems Analysis / A. R. Bergen, V. Vittal. – 2nd Edition. – Prentice-Hall, 2000. – ISBN 0-13-691910-3. (Original: 1986).
6. Lykin, A. V. Electrical Systems and Networks: A Textbook / A. V. Lykin; edited by P. I. Bartolomey. – Novosibirsk: NSTU, 2006. – 254 p. – ISBN 5-98704-055-8.
7. Akhieev, D. S. Optimization of Operating Modes of Urban Electrical Networks / D. S. Akhieev // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2019. – No. 1 (45). – P. 40–44.
8. Development of the electric power system after railway electrification / U. Bumtsend, D. D. Davlatshoev, D. S. Akhieev [et al.] // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2021. – No. 1 (53). – P. 24–30.
9. Instrumental assessment of the quality of electric energy in the southern electric networks of the Republic of Tajikistan / Sh. D. Jurazoda, M. K. Jaborov, Z. Kh. Khabibullozoda, M. M. Vokhidov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2025. – No. 1 (69). – P. 5–16.
10. Bumtsend, U. Optimization of electric power system modes by methods of artificial intelligence / U. Bumtsend, S. Kokin, N. Djagarov et al. // Proceedings of the 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). – Prague, Czech Republic, 2020. – Pp. 1–4. – DOI: 10.1109/EPE51172.2020.9269195.
11. Manusov, V. Z. Analysis and optimization of the modes of the electric power system of Mongolia taking into account the electrification of the Ulaanbaatar railway / V. Z. Manusov, U. Bumtsend, E. Enkhsaikhan // New in the Russian electric power industry. – 2017. – No. 10. – Pp. 55–66.
12. Assessment of the static stability of the electric power system taking into account the electrification of the railway / U. Bumtsend, D. S. Akhieev, M. Kh. Safaraliev [et al.] // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2022. – No. 1 (57). – Pp. 5-11.
13. Law of Mongolia on Energy. Rules for the Use of Electric Energy. - Ulaanbaatar, 2001.
14. Electrical Installation Rules (PUE). Edition 7. - Moscow: KnoRus, 2023. - 488 p.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Бумтсэнд Уянгасайхан	Бумтэнд Уянгасайхан	Bumtsend Uyangasaikhan
к.т.н., доцент	к.т.н., доцент	Can.tech.scien., Associate Professor
Донишгоҳи давлатии илм ва технологияи Муғулистон, донишқадаи технологияи Дархан	Технологический институт в г.Дархане, Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Дархан-Уул, Монголия	School of technology in Darkhan-Uul, Mongolian university of science and technology, Darkhan-Uul, Mongolia
E.mail: uyangasaikhan@stda.edu.mn		
TJ	RU	EN
Ахъёев Чавод Саламшоевич	Ахъёев Джавод Саламшоевич	Ahyoev Javod Salamshoevich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Can.tech.scien., Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
E.mail: Javod@ttu.tj		
TJ	RU	EN
Хишигбаяр Идэр	Хишигбаяр Идэр	Khishigbayar Ider
Магистр	Магистр	Master of Science
Донишгоҳи давлатии илм ва технологияи Муғулистон, донишқадаи технологияи Дархан	Технологический институт в г.Дархане, Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Дархан-Уул, Монголия	School of technology in Darkhan-Uul, Mongolian university of science and technology, Darkhan-Uul, Mongolia
E.mail: ider.kh@stda.edu.mn		
TJ	RU	EN
Далай Амарбаясгалан	Далай Амарбаясгалан	Dalai Amarbayasgalan
Магистрант	Магистрант	Master's student
Донишгоҳи давлатии илм ва технологияи Муғулистон, донишқадаи технологияи Дархан	Технологический институт в г.Дархане, Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Дархан-Уул, Монголия	School of technology in Darkhan-Uul, Mongolian university of science and technology, Darkhan-Uul, Mongolia
E.mail: amarbayasgalan@stda.edu.mn		