

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) (2.4.3)

УДК 621.311.22

DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-27-34

Возможные пути развития электроэнергетической системы Монголии

Д.Н. Удинцев, М. Балдорж

Представлены анализ текущего состояния и особенности энергосистемы Монголии. Сформулированы основные проблемные вопросы ЭЭС страны.

Ключевые слова: структура энергосистемы Монголии, источник генерации, производство и импорт электроэнергии, распределенная генерация (РГЭ).

Для цитирования: Удинцев Д.Н., Балдорж М. Возможные пути развития электроэнергетической системы Монголии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 27—34. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-27-34.

Possible Ways of Developing Mongolia's Electric Power System

D.N. Udintsev, M. Baldorzh

The article presents an analysis of the current state and features of the power system of Mongolia. The main problematic issues of the country's electric power system are formulated.

Key words: Mongolia's power system structure, generation source, electricity production and import, distributed generation of electricity.

For citation: Udintsev D.N., Baldorzh M. Possible Ways of Developing Mongolia's Electric Power System. Bulletin of MPEI. 2023;5: 27—34. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-27-34.

Введение

Состояние энергетической отрасли — один из фундаментальных факторов социально-экономического развития каждой страны. В связи с большим ростом потребления электроэнергии в последние годы и увеличением числа потребителей, требующих более высоких категорий надежности, структура энергосистемы также меняется и модернизируется. В мировой энергетике распределенная генерация — одно из перспективных направлений развития, ее совместное применение с возобновляемой энергетикой и управлением нагрузкой имеет большие перспективы за счет синергетического эффекта.

В настоящее время идет внедрение в энергосистему Монголии источников генерации малой мощности, в том числе, возобновляемых. Применение распределенной малой генерации может стать одним из конкурентоспособных вариантов для дальнейшего развития ЭЭС.

Цель настоящего исследования — комплексная оценка современного состояния энергосистемы страны и обоснование возможных путей ее развития с учетом применения распределенной генерации.

Общая характеристика энергосистемы Монголии

Монголия — страна с обширной территорией и малочисленным населением. Ее энергосистема состоит из Центральной (ЦЭЭС), Западной (ЗЭЭС), Восточной (ВЭЭС), Алтай-Улиастайской (АУЭЭС) и Южной (ЮЭЭС) ЭЭС (рис. 1).

Суммарная выработка электроэнергии по состоянию на 2021 г — 8850,5 млн кВт·ч [1] (рис. 2, табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что во внутреннем производстве электроэнергии доминирующую роль играют угольные ТЭЦ, предназначенные для комбинированного производства электроэнергии и тепла, работающие с целью обеспечения базовой электрической нагрузки, производства горячей воды для централизованного

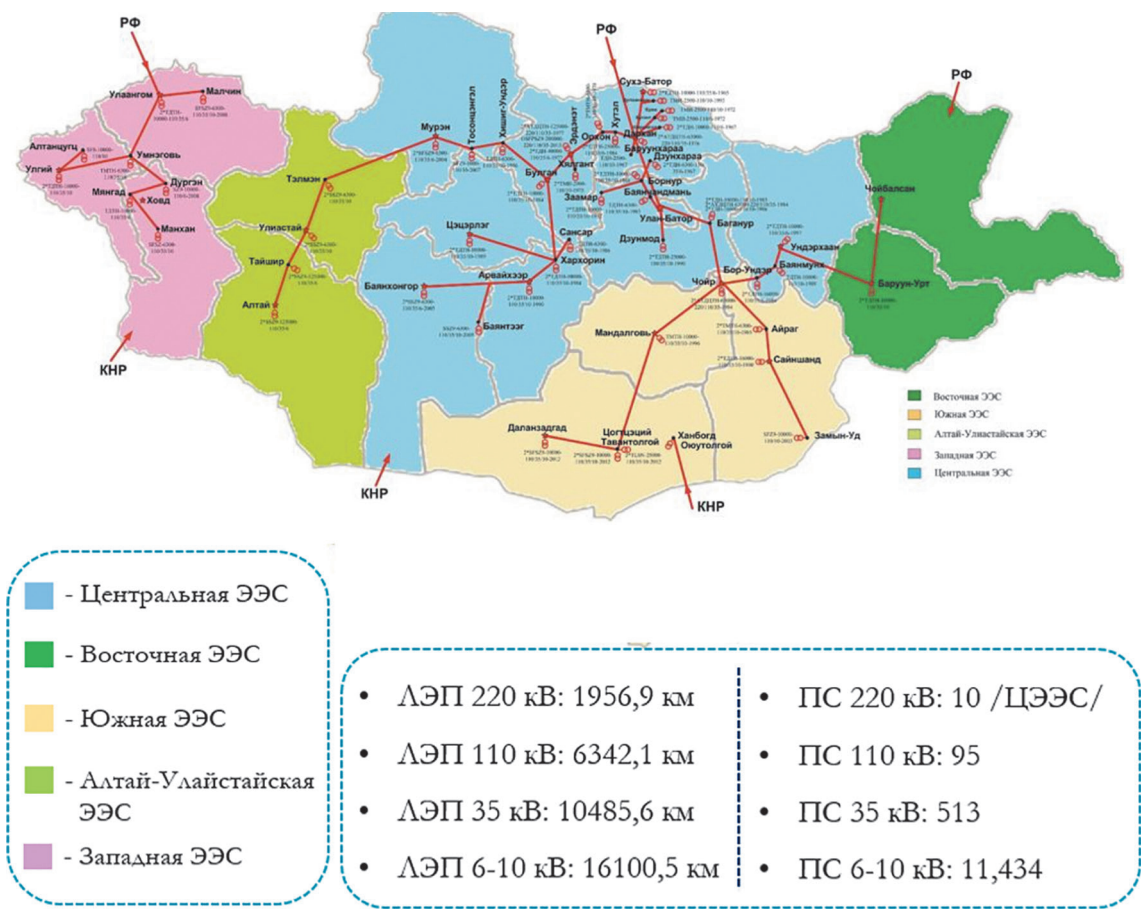


Рис. 1. Энергосистема Монголии и ее основные характеристики

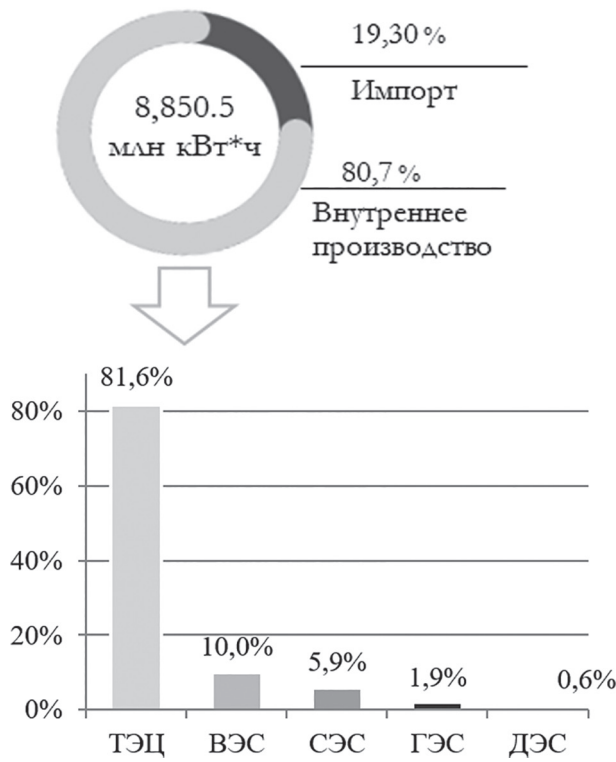


Рис. 2. Доли источников генерации внутреннего производства

теплоснабжения города и пара для технологических нужд промышленности.

В настоящее время в Монголии работают семь угольных ТЭЦ, шесть из которых расположены в ЦЭЭС (1054 МВт), три ВЭС (155 МВт) и пять СЭС (60 МВт) [2].

Самой крупной в стране считается ЦЭЭС. Она снабжает электроэнергией население 13 аймаков центрального региона и столицу Улан-Батор, где живёт около 1,5 млн человек. Остальные ЭЭС очень малы по мощности по сравнению с ЦЭЭС (табл. 2, 3) [3].

Нагрузка в ЦЭЭС составляет примерно 1277 МВт. ЗЭЭС обеспечивает электроэнергией западные аймаки в Алтайском регионе с общей нагрузкой около 44 МВт, ВЭЭС обслуживает два восточных аймака (общая нагрузка около 36 МВт), а нагрузка в АУЭЭС равна 21 МВт.

Напряжение линии электропередач системообразующих сетей и межсистемных связей — 220 (только в ЦЭЭС) и 110 кВ. Напряжение распределительных сетей в основном — 35 кВ, обычно понижается до 15 или 6...10 кВ.

Потенциал возобновляемых источников энергии

Монголия обладает огромным потенциалом для развития возобновляемых и невозобновляемых ис-

Таблица 1

Установленная мощность различных типов источников генерации [1]

Источник генерации		Годы				
		2017	2018	2019	2020	2021
ТЭЦ	МВт	1,100	1,110	1,145	1,234	1,269
	%	89,9	85,1	83,9	81,5	81,9
ВИЭ	МВт	146,4	216,4	241,2	271,2	271,2
	%	11,9	16,6	17,7	18,3	17
ДЭС	МВт	2,3	2,3	2,3	2,3	8,6
	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6
Всего		1234,5	1304,5	1364,3	1513,8	1548,8

Таблица 2

Состав и количество ПС по классам напряжения в ЭЭС [1]

ЭЭС	U, кВ				
	6...10	15	35	110	220
ЦЭЭС	5164	301	284	92	9
ЗЭЭС	716	75	21	9	—
АУЭЭС	191	45	21	4	—
ВЭЭС	329	76	20	10	—
ЮЭЭС	117	11	15	—	—
Всего ПС	6517	508	361	115	9

Таблица 3

Основные характеристики ЭЭС Монголии [4]

Показатели		ЭЭС				
		ЦЭЭС	ЗЭЭС	ЮЭЭС	ВЭЭС	АУЭЭС
$P_{\text{уст}}$, МВт		1225,4	12	182	36	19,1
$L_{\text{длп}}$, км	220 кВ	2132	—	—	—	—
	110 кВ	3826	913,7	—	845	253
	35 кВ	6197	977,8	431	1232	929
	15 кВ	1694	912,8	161	604,5	533
	6...10 кВ	9619	1495	236	694,2	525

точников энергии. Однако, из-за большой территории, низкой плотности населения, а также слабого развития энергоёмкого производства, работающего по непрерывному графику, ей присущи определенные особенности развития электросетевого комплекса.

В настоящее время в Монгольской энергосистеме масштабно развиваются как традиционные, так и возобновляемые генерирующие источники малой мощности.

Солнечная энергия

Монголия обладает большими запасами солнечной энергии, особенно ими отличаются провинции, находящиеся на территории пустыни Гоби. В среднем от 270 до 300 дней в году там бывают солнечными и ясными, а среднегодовое светлое время суток со-

ставляет около 2750...3300 ч [5]. Уровень солнечного излучения примерно на 71% территории страны достигает 5,5...6,0 кВт·ч/м² в сутки при 2900...3000 солнечных часов в год [6].

В Монголии солнечная энергия может стать наиболее подходящим вариантом для развития малой генерации в сельских районах с целью обеспечения первичных нужд в электроэнергии. В настоящее время применение солнечной энергии ограничено применением малых солнечных коллекторов для освещения, телевизоров и подзарядки телефонов, а для отопления и приготовления пищи жители мелких населённых пунктов обычно используют угольные печи.

Рассматривается вопрос о крупномасштабной установке солнечных электростанций в регионе Гоби, по-

сколько это поможет снизить загрязнение воздуха и будет содействовать региональному развитию.

Ветровая энергия

Средняя скорость ветра в стране оценивается в 4...9 м/с. Более высокие скорости были зафиксированы в области пустыни Гоби и провинциях Дорнод (табл. 4). Средняя плотность ветра в этих районах составила 150...200 Вт/м² при длительности действия 4000...4500 ч/г [7]. Ветряные электростанции построены во многих сомонах (Монголия в административном управлении делится на аймаки (монг. аймаг) и столицу — Улан-Батор. Аймаки (всего их 21) разделяются на сомоны (монг. сум), а сомоны — на баги), работающих в зависимости от сезонности.

Горная система «Монгольский Алтай», горы Тагна и Хан-Хэнтий, гористые районы Хубсугул считаются районами с низким ветроэнергетическим потенциалом. Плотность энергии ветрового потока в них не превышает 100 Вт/м² при длительности действия ветра скоростью 3,5 м/сек менее 3000 ч/г. Площадь территории — 32,3% от общей территории страны. За последнее время ветряные электростанции установлены во многих сомонах [6].

На рисунке 3 приведена карта ветровых ресурсов Монголии, на которой показаны шесть категорий с учетом плотности энергии ветрового потока в регионах.

Гидроэлектрэнергия

В стране протекают около 3800 рек и ручьев общей протяженностью 6500 км. Они могут стать источником для строительства гидроэлектростанций суммарной мощностью свыше 6,0 ГВт. Исходя из анализов потенциала развития гидроэнергии в Монголии, проведенных в 2019 г., за счет выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях можно производить до 56,2 млрд кВт·ч электроэнергии в год. В настоящее время установленная мощность всех ГЭС страны составляет около 30 МВт. Самые крупные — Дургон и Тайшир. Также функционирует ряд гидроэлектростанций, установленная мощность которых приведена в табл. 5 [5].

Актуальное состояние энергосистемы Монголии

Внутреннее производство электроэнергии всех электроэнергетических систем Монголии не в силах покрывать полностью электропотребление всей страны, несмотря на все ее богатство собственными природными ресурсами. В связи с быстрым ростом электропотребления ввод новых генерирующих мощностей существенно отстает от потребления.

В ЭЭС имеются особенности и недостатки, вследствие которых потребители страдают от некачественного энергоснабжения, а также ограниченного доступа к электроэнергии. У 15% населения страны отсутствует доступ к устойчивому источнику электроэнергии.

Монголия связана с РФ и КНР по нескольким ЛЭП разных уровней напряжения, предназначенным для импорта электроэнергии [8]. Около 20% электропотребления страны покрывается за счет импорта из двух соседних стран: 85% импортируется из Китая, а остальные — из РФ [9]. Поставка электроэнергии из РФ не только обеспечивает необходимую располагаемую мощность, но и одновременно является резервом мощности и регулятором частоты ЭЭС [10].

Основные особенности и проблемы ЭЭС Монголии

- Ограниченная возможность регулирования электроэнергии и высокие износы ТЭЦ.

ЦЭЭС не всегда может удовлетворить суточную потребность системы, поскольку ее дневная нагрузка зачастую превышает имеющиеся мощности, а в ночное время возникает избыток мощности, и часть вырабатываемой электроэнергии передается обратно в РФ. На данный момент в ЦЭЭС действуют шесть ТЭЦ, обеспечивающих тепло- и электроэнергией крупные города центрального региона. Практически все ТЭЦ имеют большой износ. Примерно 15% вырабатываемой электроэнергии на них расходуется на собственные нужды. Проблемой становится их значительный срок службы. Уже в ближайшие годы потребуются полномасштабная реконструкция, комплексная модернизация и, в перспективе, полная замена всех ТЭЦ или ввод новых генерирующих мощностей в эксплуатацию [9].

- Низкая пропускная способность воздушных линий электропередачи.

Таблица 4

Ветроэнергетический потенциал Монголии

Категория	Ветер на высоте 30 м		Общая площадь		Общая мощность, МВт	Потенциальный объем энергии, ГВт·ч/год
	мощность, Вт/м ²	скорость, м/с	км ²	%		
III	300...400	6,4...7,1	130,65	81,3	905,5	1975,5
IV	400...600	7,1...8,1	27,155	16,9	188,3	511,00
V	600...800	8,1...8,9	2,6790	1,70	18,50	60,200
VI	800...1000	8,9...9,6	142,00	0,10	1,000	3,4000
Всего	—		160,64	100	1113,3	2550,1

Категория	Плотность энергии ветрового потока Вт/м ²
I	100...200
II	200...300
III	300...400
IV	400...600
V	600...800
VI	800...1000

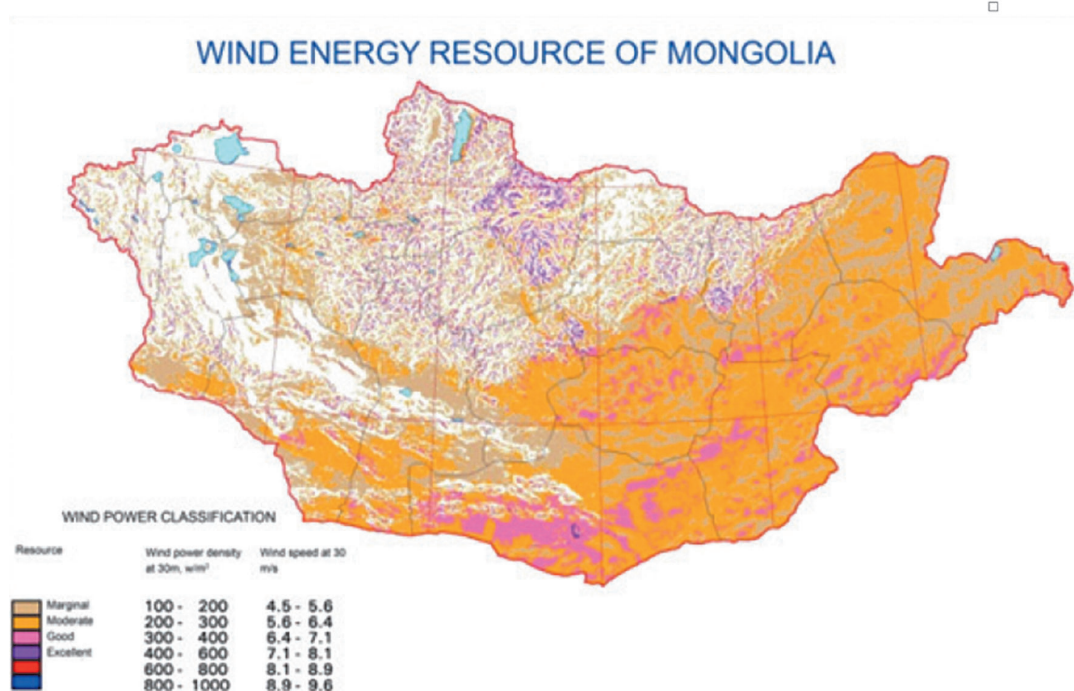


Рис. 3. Ресурсы ветровой энергии в Монголии по регионам

Таблица 5

Установленная мощность ГЭС Монголии

Название ГЭС	Установленная мощность, кВт
Богд	2000
Манхан	150
Гуулин	480
Тайшир	11000
Дургун	12000
Уэнч	2000
Хунгуй	150
Галуут	120
Эрдэнэбулган	200

Особенность энергосистемы Монголии — относительно малая нагрузка, огромная протяженность линий электропередач, малое число источников генерации, сконцентрированных на относительно небольшой части территории страны. Поскольку длина линии электропередач превосходит допустимые значения, а передаваемая по ней мощность — незначительна, сле-

довательно, пропускная способность понижена, и нарушен нормальный режим работы ВЛ (табл. 6).

- Потери мощности в распределительных сетях.

Для электросетевого комплекса страны характерна большая протяженность линии электропередач при относительно малой передаваемой мощности. Это приводит к значительным потерям при передаче и распределении электроэнергии (рис. 4). Потери мощности в сетях примерно в 1,3...1,5 раза выше по сравнению с другими странами [4].

- Климатические условия, влияющие на бесперебойность электроснабжения.

Суровые климатические условия существенно влияют на бесперебойное электроснабжение и качество поставляемой электроэнергии. Монголия — страна с резкоконтинентальным климатом, диапазон температур зимой колеблется от -20 до -50°C . Продолжительность отопительного сезона в среднем составляет до 8 месяцев. В результате этого возникает дисбаланс между спросом и предложением электро- и теплоэнергии на ТЭЦ, так как комбинированные угольные электростанции, в основном, обеспечивают электроэнергией, теплом и горячей водой города центрального региона.

Таблица 6

Пропускная способность воздушных линий электропередач [11]

Номинальное напряжение, кВ	Наибольшая передаваемая мощность на одну цепь, МВт	Наибольшая длина передачи, км	Фактически передаваемая мощность, МВт	Фактическая длина передачи в ЭЭС, км
35	5...15	30...60	3	40...100
110	25...50	50...150	10	95...1000*
220	100...200	150...250	120	130...257

Примечание: * — протяженность ВЛ 110 кВ Булган–Мурэн–Улиастай–Алтай составляет около 1000 км

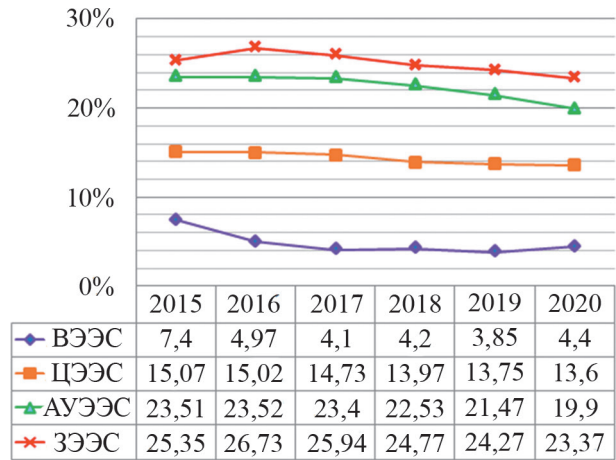


Рис. 4. Потери мощности при передаче и распределении электроэнергии (% от объема производства)

Однако 230 тысяч семей, живущих в традиционных юртах в городе Улан-Батор, не подключены к централизованному теплоснабжению. Они используют традиционные устаревшие угольные печи в качестве отопления и для приготовления пищи.

Столица и крупные города окутаны густым дымом, затрудняющим дыхание. Уровень загрязнения примерно в 80 раз превышает нормативные значения, установленные Всемирной Организацией Здравоохранения, что вызывает серьезные проблемы со здоровьем жителей. Наиболее подходящим вариантом выхода из этой ситуации может стать отказ от отопления жилых домов устаревшими угольными печами, выпускающими нефильтрованный дым на окружающую среду, и подключение их к централизованному теплоснабжению. Переход на возобновляемые источники энергии и увеличение тепловой мощности ТЭЦ также помогут снизить жесткую связь между спросом и предложением электро- и теплоэнергии.

Во время весеннего периода в регионах Гоби наблюдаются ветры наибольшей силы, что приводит к образованию бурь. В некоторых районах они достигают 15...30 м/с. Из-за этого часто разрушаются опоры линий электропередач (в основном 35 кВ), и практически все сельские населённые пункты, где нет собственных источников электроэнергии, остаются без электричества на время аварийного отключения (табл. 7). Боль-

Таблица 7

Количество отключения ЛЭП при возникновении аварии из-за погодных условий и внешних факторов в ЦЭЭС

Количество отключений по годам	ЦЭЭС
2015	165
2016	181
2017	77
2018	389

шинство сельских населений располагаются вдали друг от друга (примерно от 100 до 200 км), и при крупных авариях период восстановления нормального режима работы энергосистемы растягивается на сутки и более. Для повышения надежности электроснабжения и обеспечения нормального функционирования электрических сетей 110/220 кВ во время аварийного режима при однофазном замыкании на землю и обрывах фазных проводников необходимо проанализировать и оценить возможность использования неполнофазных режимов вместо полного отключения потребителя.

● Проблемы с электроснабжением отдаленных районов.

Электроэнергия в Монголии широко доступна для промышленного и бытового потребления в городах, но менее доступна за пределами крупных центров, где энергетическая инфраструктура слабо развита.

Отдаленные районы страны, обеспечиваемые электроэнергией ДЭС мощностью от 10 кВт до 3 МВт, не имеют электрических связей с энергосистемами Монголии. У 30% сельского населения отсутствует доступ к электричеству. Кочевники-скотоводы чаще всего используют установки на основе солнечных батарей.

Практически все источники большой мощности сконцентрированы в центральном регионе страны, а воздушные линии электропередачи для электроснабжения дальних районов (западные и восточные регионы) имеют огромные протяженности, и из-за этого усложняется процесс определения мест повреждения, увеличивается время восстановления линий [4]. Необходимо принять меры по увеличению пропускной способности ВЛЭП (увеличение количества цепей линии,

повышение уровня напряжения) и др., но все они связаны с большими финансовыми вложениями.

Через сельские районы зачастую проходят ВЛ напряжением 110 кВ, однако строительство двух каскадов понижающих ТП 110/10 и 10/0,4 кВ для питания маломощных потребителей экономически нецелесообразно. Для электроснабжения подобных потребителей следует использовать емкостной отбор мощности с организацией пунктов подключения [12].

В стране отмечается дефицит мощности. Ежегодно электропотребление в Монголии возрастает примерно на 10% [9]. Покрытие прогнозируемого дефицита мощности за счет импорта электроэнергии крайне затруднительно и практически невозможно по условиям надежности и электробезопасности. Целесообразно строительство новых дополнительных электростанций малой мощности с учетом географического положения потребителей и плотности нагрузки, а также разработка изменения структур электроэнергетических сетей.

Заключение

Исходя из проведенного исследования, приведем возможные пути решения проблем в ЭЭС Монголии.

Литература

1. **Отчет** комиссии по регулированию энергетики за 2021 г. [Электрон. ресурс] <http://erc.gov.mn/web/mn/statistic> (дата обращения 10.04.2023).
2. **Эрдэнэбат Э.** Управление режимами электрических сетей с распределенной малой генерацией (на примере монгольской энергосистемы): автореф. ... канд. техн. наук. Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2019.
3. **Министерство** энергетики Монголии [Официальный сайт] <http://energy.gov.mn/> (дата обращения 10.04.2023).
4. **Бат-Эрдэнэ Б., Батмунх С., Воронай Н.И., Стенников В.А.** Некоторые вопросы стратегии развития энергетики Монголии // Энергетическая политика. 2016. № 6. С. 95—106.
5. **Джамбаа Лкагва.** Политика в области возобновляемых источников энергии в Монголии [Электрон. ресурс] <https://events.development.asia/system/files/materials/2019/09/201909-green-buildings-everyone-within-generation-rus.pdf> (дата обращения 10.04.2023).
6. **Углублённый обзор** по инвестиционному климату и структуре рынка в энергетическом секторе Монголии [Официальный сайт] http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/ICMS/ICMS-Mongolia_2013_ru.pdf (дата обращения 10.04.2023).
7. **Углублённый обзор** политики и программ в области энергоэффективности: Монголия [Официальный сайт] <https://www.energycharter.org/what-we-do/energy-efficiency/energy-efficiency-country-reviews/in-depth-review-of-energy-efficiency-policies-and-programmes/in-depth-energy-efficiency-review-of-mongolia-2011/> (дата обращения 10.04.2023).

• учитывая, что основные мощные источники генерации находятся в центральном районе, а отдаленные районы расположены достаточно на большом расстоянии от центра и друг от друга, одним из вариантов решения может быть ввод новых дополнительных генерирующих мощностей непосредственно вблизи от объектов потребления электроэнергии. Это может быть строительство угольных мини-станций, ГТУ малой мощности и электрических станций на основе ВИЭ. Приближение генерации к потребителям позволит снизить потери в сетях, покрыть дефицит мощности в системе и повысить надёжность электроснабжения;

• следует обеспечить функционирование электрических сетей 110/220 кВ в неполнофазных режимах вместо полного отключения при однофазном замыкании на землю и обрывах фазных проводников.

• адаптивное к возможностям генерации и системы передачи и распределения ЭЭ регулирование (формирование) нагрузки поможет ограничить потребляемую мощность вместо полного отключения потребителей при перегрузках.

В последующих публикациях будут подробно раскрыты все предлагаемые варианты.

References

1. **Отчет** Комиссии по Регулированию Энергетики за 2021 г. [Elektron. Resurs] <http://erc.gov.mn/web/mn/statistic> (Data Obrashcheniya 10.04.2023).
2. **Erdenebat E.** Upravlenie Rezhimami Elektricheskikh Setey s Raspredelennoy Maloy Generatsiey (na Primere Mongol'skoy Energosistemy): Avtoref. ... Kand. Tekhn. Nauk. Novosibirsk: Novosibirskiy Gos. Tekhn. Un-t, 2019. (in Russian).
3. **Ministerstvo** Energetiki Mongolii [Ofits. Sayt] <http://energy.gov.mn/> (Data Obrashcheniya 10.04.2023).
4. **Bat-Erdene B., Batmunkh S., Voropay N.I., Stennikov V.A.** Nekotorye Voprosy Strategii Razvitiya Energetiki Mongolii. Energeticheskaya Politika. 2016; 6:95—106. (in Russian).
5. **Dzhambaa Lkagva.** Politika v Oblasti Vozobnovlyaemykh Istochnikov Energii v Mongolii [Elektron. Resurs] <https://events.development.asia/system/files/materials/2019/09/201909-green-buildings-everyone-within-generation-rus.pdf> (Data Obrashcheniya 10.04.2023). (in Russian).
6. **Uglublennyy Obzor** po Investitsionnomu Klimatu i Strukture Rynka v Energeticheskom Sektore Mongolii [Ofits. Sayt] http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/ICMS/ICMS-Mongolia_2013_ru.pdf (Data Obrashcheniya 10.04.2023). (in Russian).
7. **Uglublennyy Obzor** Politiki i Programm v Oblasti Energoeffektivnosti: Mongoliya [Ofits. Sayt] <https://www.energycharter.org/what-we-do/energy-efficiency/energy-efficiency-country-reviews/in-depth-review-of-energy-efficiency-policies-and-programmes/in-depth-energy-efficiency-review-of-mongolia-2011/> (Data Obrashcheniya 10.04.2023). (in Russian).

8. Бат-Эрдэнэ Б., Воропай Н.И., Лянхцэцэг С., Батмунх С. Планирование развития электроэнергетической системы Монголии // Энергетическая политика. 2021. № 11. С. 66—81.

9. Такайшвили Л.Н., Соколов А.Д., Батхуяг С. Перспективы развития угольной энергетики Монголии // Вестник ИрГТУ. 2019. № 1. С. 137—147.

10. Национальный диспетчерский центр энергосистемы Монголии [Офиц. сайт] <https://ndc.energy.mn/> (дата обращения 10.04.2023).

11. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Файбисовича Д.Л. М.: ЭНАС, 2012.

12. Бурянина Н.С. и др. Емкостные отборы мощности от линий электропередач 110—220 кВ // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 12. С. 38—41.

8. Bat-Erdene B., Voropay N.I., Lyankhtsetseg S., Batmunkh S. Planirovanie Razvitiya Elektroenergeticheskoy Sistemy Mongolii. Energeticheskaya Politika. 2021;11:66—81. (in Russian).

9. Takayshvili L.N., Sokolov A.D., Batkhuyag S. Perspektivy Razvitiya Ugol'noy Energetiki Mongolii. Vestnik IrGTU. 2019;1:137—147. (in Russian).

10. Natsional'nyy Dispetcherskiy Tsentr Energosistemy Mongolii [Ofits. Sayt] <https://ndc.energy.mn/> (Data Obrashcheniya 10.04.2023).

11. Spravochnik po Proektirovaniyu Elektricheskikh Setey. Pod Red. Faybisovicha D.L. M.: ENAS, 2012. (in Russian).

12. Buryanina N.S. i dr. Emkostnye Otbory Moshchnosti ot Liniy Elektropredach 110—220 kV. Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo Universiteta. 2017;17;12:38—41. (in Russian).

Сведения об авторах:

Удинцев Дмитрий Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: UdintsevDN@mpei.ru

Балдорж Мягмаргарав — аспирант кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: BaldorzhM@mpei.ru

Information about authors:

Udintsev Dmitriy N. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Electric Power Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: UdintsevDN@mpei.ru

Baldorzh Myagmargarav — Ph.D.-student of Electric Power Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: BaldorzhM@mpei.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 23.03.2023

The article received to the editor: 23.03.2023

Статья принята к публикации: 06.06.2023

The article has been accepted for publication: 06.06.2023