



Ильковский Константин Константинович — доктор экономических наук, профессор кафедры возобновляемых источников энергии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Ахметшина Гузель Раисовна — студентка кафедры возобновляемых источников энергии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Ильковский Даниил Константинович — студент кафедры экономики № 17 ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации».

Кусимов Марсэль Рафаэлевич — студент кафедры возобновляемых источников энергии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Konstantin K. Il'kovskij — Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Guzel' R. Ahmetshina — Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Daniil K. Il'kovskij — St. Petersburg State University of Civil Aviation.

Marsel' R. Kusimov — Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

УДК 621.3
DOI: 10.33917/es-3.169.2020.18-23

В статье рассматривается необходимость развития распределительных сетей единой национальной электрической сети в районах с децентрализованным энергоснабжением, оценено возможное сокращение расхода дизельного топлива на выработку электроэнергии дизельными электростанциями (ДЭС), обобщен имеющийся опыт, сделана оценка коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ДЭС.

Ключевые слова

Энергоснабжение, ЕНЭС, линии дальних электропередач, децентрализованное энергоснабжение, возобновляемые источники энергии, дизельные электростанции, КИУМ.

Стратегия развития единой национальной электрической сети (ЕНЭС) на территориях с децентрализованным энергоснабжением в Российской Федерации

В Российской Федерации пять субъектов Федерации не имеют связи с ЕНЭС, кроме того, 20 субъектов Федерации имеют зоны децентрализованного энергоснабжения, где энергоснабжение осуществляется 750 дизельными электростанциями (ДЭС) общей установленной мощностью почти 1 ГВт. Это 800 населенных пунктов, в которых проживают более 500 000 человек. Такие ДЭС в год сжигают почти 350 000 т дизельного топлива (ДТ), что предопределяет высокую себестоимость вырабатываемой энергии — от 30 до 150 руб. за 1 кВт·ч. По данным Минэнерго России, эти регионы ежегодно направляют на компенсацию разницы в тарифах (с целью доведения их до среднероссийского уровня) более 20 млрд руб. [1]. Осуществляется это как за счет бюджетов всех уровней, так и за счет оптового рынка энергии и мощности (ОРЭМ), то есть за счет перекрестного субсидирования.

Для решения существующих энергетических проблем районов, относящихся к технологически изолированным (ТИЭР), предлагаются различные решения в зависимости от технического состояния ДЭС, их географического положения и климатических условий. Стандартным решением является замена действующей ДЭС на новую (или ее модернизация), что дает возможность генерации одновременно тепла и электроэнергии. Возмож-

ным решением является изменение структуры топливного баланса, когда более дорогой вид топлива полностью или частично заменяется более дешевым, например, дизельное топливо заменяется сырой нефтью или газом при незначительных переделках оборудования. Также одним из вариантов оптимизации локальной энергетики является применение автономных гибридных энергетических установок (АГЭУ). Это могут быть современные дизель-генераторные установки (ДГУ), генератор на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), накопители энергии (НЭ) и вспомогательное оборудование [2, 3].

Все эти решения, безусловно, эффективны, позволяют сократить расходы дизельного топлива, снизить себестоимость производства энергии и сократить бюджетные расходы.

Опыт разработки и реализации программ оптимизации локальной энергетики (ПОЛЭ) в различных регионах показывает, что эти меры способны сократить расходы дизельного топлива на 30%. Основным генератором все равно остается ДЭС, следовательно, тарифы и нагрузка на бюджет будут все еще значительными.

Приступая к разработке мероприятий по оптимизации в ПОЛЭ, необходимо начинать с анали-

Development Strategy for the Unified National Electric Grid (UNEG) on Territories with Decentralized Energy Supply in the Russian Federation

The article dwells on the need to develop distribution networks of the Unified National Electric Grid in areas with decentralized energy supply, the authors estimate possible reduction in diesel fuel consumption for electricity generation by diesel power plants (DPP), summarize the existing experience, estimate the installed capacity utilization factor (ICUF) of DPP.

Keywords

Energy supply, UNEG, long-distance power lines, decentralized energy supply, renewable energy sources, diesel power plants, ICUF.

за возможности дотянуть линии электропередачи от распределительных сетей ЕНЭС или крупных центров генерации (ТЭС или ГЭС) на данной территории до населенных пунктов, снабжаемых электроэнергией от ДЭС. Отсутствие в целом ряде населенных пунктов централизованного электроснабжения не всегда объясняется их удаленностью. Первая причина этого — очень низкая стоимость дизельного топлива (6–10 коп. за 1 кг) в период массовой электрификации населенных пунктов (1970–1980-е годы), что делало стоимость 1 кВт·ч практически сопоставимой со стоимостью централизованного энергоснабжения. Вторая причина — не дошла очередь, начались 1990-е годы. Технологические и экономические ограничения — экономическая плотность тока и, как следствие, потери, качество энергии и иное — были вторичными.

Наглядным примером могут являться десятки линий электропередачи низких классов напряжения в Республике Саха (Якутия), протяженность каждой из которых приближается к 100 км. При этом технологические и экономические параметры энергоснабжения находятся в допустимых пределах или близки к ним (табл. 1).

Это же касается и линий электропередачи высоких классов напряжения 110–220 кВ, протяженность которых достигает 700 км.

С конца 2000-х годов начинают действовать отраслевые стандарты, определяющие технологические и вытекающие из них экономические требования к созданию новых и реконструируемых электрических сетей разных классов напряжения.

Максимальная мощность для ЛЭП 220 кВ и ниже, определенная на основании их допустимой

мощности при нормированной плотности тока, представлена в табл. 2 и 3 [4].

По мере уменьшения сечения проводов и увеличения их длины возрастают потери при передаче электрической энергии и требуется переход на более высокий класс напряжения. При увеличении сечения и уменьшении длины все наоборот — потери уменьшаются, но возрастают капитальные затраты на сооружение электросети более высокого класса напряжения. Таким образом, стремление уменьшить потери приводит к необходимости строить линию электропередачи более высокого класса напряжения, а следовательно, и более дорогую. Поэтому в экономическом отношении наилучшим будет тот вариант, при котором сумма приведенных затрат снизится до минимума.

Однако есть два «но»:

- такой подход справедлив, когда мы сравниваем себестоимость передачи энергии с близкой по значению себестоимостью выработки. Но этот подход перестает работать, когда мы сравниваем себестоимость передачи энергии и себестоимость ее выработки, которые различаются в разы или даже на порядок;
- параметры ВЛ, приведенные в табл. 2 и 3, получены в результате сложных электротехнических расчетов. Но справедливы ли эти расчеты для линий дальних электропередач?

К линиям дальних электропередач (ДЭП) можно относить все линии электропередачи (ЛЭП), для расчета электрического режима которых недостаточно оценивать параметры их схем замещения в виде линейных функций длины, как это делается при расчете обычных ЛЭП, а необходимо учитывать нелинейность этих зависимостей. Такого рода нелинейности присутствуют в электропередачах любой длины, и это связано с рас-

Таблица 1

Длинные линии электропередачи в Республике Саха (Якутия)

Наименование ВЛ*	Класс напряжения, кВ	Длина, км	Марка и сечение провода	Нагрузка, МВт	Потери, %
Мурья — Южная Нюя	10	74	АС-120	0,5	25,8
Маар — Чкалов	10	54	АС-35, СИП-3-50	1,78	12,6
Тербяс-2 — Кулятыцы	10	80	АС-35	0,2	11,6
Эльгыяй — Шея	10	47	АС-50	0,1	12,8
Бютейдах — Алтанцы — Олом-Кюель	10	97	АС-35, СИП3-70	0,65	16,4
Бярие — Кыллай	10	50	СИП3-70, АС-35	0,12	7,8
Табага — Даркылах	10	133	АС-35, 70, СИП3.35	0,8	7,2
Намцы — Салбанцы	10	100	АС70, 50, СИП3.50	0,13	20,6

* Воздушная линия электропередачи (ВЛ).

Источник: составлено авторами

➤ Отсутствие в целом ряде населенных пунктов централизованного электроснабжения не всегда объясняется их удаленностью.

пределенностью параметров ЛЭП по ее длине. Однако для сравнительно коротких ЛЭП они настолько незначительны, что в практических расчетах ими можно пренебречь. Но с увеличением длины ЛЭП эти нелинейности становятся существенными и традиционные уравнения электрических режимов начинают описывать соотношения между параметрами электрических режимов со все большими погрешностями. Эти погрешности связаны с учетом волновых процессов, происходящих в электропередачах. ЛЭП, в расчетах которых следует считаться с нелинейностью зависимости параметров от длины, принято называть длинными, а соответствующие передачи — дальними [5]. Это и объясняет «работоспособность» приведенных в *табл. 1* ВЛ в Якутии и на других территориях.

В Республике Саха (Якутия) силами ОАО «Якутск-энерго» с 2001 г. реализуется Программа оптимизации локальной энергетики (ПОЛЭ), позволившая в два раза сократить расход дизельного топлива в районах децентрализованного энергоснабжения. ПОЛЭ предусматривала и развитие распределительных сетей к ДЭС. Строительство ВЛ 110 кВ Сулгачи — Эльдикан — Усть-Мая протяженностью 240 км позволило остановить две ДЭС и перестать сжигать ежегодно 26 000 т ДТ. Строительство ВЛ 220 кВ Сунтар — Олекминск протяженностью 275 км позволило экономить 7000 т ежегодно. Строительство ВЛ 110 кВ Хандыга — Джебарики-Хая протяженностью 60 км позволило остановить ДЭС и сэкономить 4000 т ДТ. Таким образом, только развитие распределительных сетей позволило экономить более 37 000 т ДТ в год и снизить себестоимость производства электроэнергии в этих районах в пять раз. При прочих равных условиях в течение 12–18 месяцев полезный отпуск возрастал на 30%. Все проекты имели простой срок окупаемости, не превышающий пяти лет [6].

Анализ энергоснабжения населенных пунктов и объектов промышленности на востоке и северо-востоке страны с использованием длинных ЛЭП позволяет предложить следующую натуральную мощность и предельные значения длины ВЛ классом напряжения 220 кВ и ниже (*табл. 4*).

Это открывает новые возможности для повышения эффективности энергоснабжения децентрализованных территорий.

Рассмотрим такую возможность на примере Хабаровского края, который входит в Восточную часть ЕНЭС, но при этом имеет островки децентрализованного энергоснабжения, представленные 61 ДЭС, которые ежегодно расходуют 28 000 т дизельного топлива. На этих островках проживают почти 30 000 человек.

Анализ пространственного расположения распределительных сетей и подстанций ЕНЭС и их соотношение с расположением ДЭС позволяет сделать вывод о наличии физической возможности и экономической целесообразности дотянуться распределительными сетями ЕНЭС до 26 ДЭС в крае (*табл. 5*).

Все эти проекты имеют приемлемые для энергетических проектов сроки окупаемости только за счет экономии топливной составляющей.

Таблица 2

Допустимая нагрузка линий электропередачи (ВЛ) классом напряжения 35 кВ и ниже

Напряжение, кВ	Максимальная допустимая мощность ЛЭП, МВт	Предельное значение длины ЛЭП, км
10(6)	2,1	5
20	7,5	8
35	9,3	20

Таблица 3

Натуральная мощность и предельные значения длины ВЛ классом напряжения 110 кВ и выше

Номинальное напряжение, кВ	Натуральная мощность ВЛ, МВт	Предельное значение длины ВЛ, км
110(157)	30	80
220	135	250

Примечание. Для ЛЭП, сооружаемых в габаритах следующего класса напряжения, допускается соответствующее увеличение предельного значения длины

Таблица 4

Натуральная мощность и предельные значения длины ВЛ классом напряжения 220 кВ и ниже

Номинальное напряжение, кВ	Натуральная мощность ВЛ, МВт	Предельное значение длины ВЛ, км
10	2	100
20	5	150
35	9	200
110	50	300
220	135	800

Источник: составлено авторами

Таблица 5

Перспективные распределительные сети ЕНЭС в зонах децентрализованного энергоснабжения Хабаровского края

Название ВЛ	Класс, кВ	Длина, км	Экономия, т/млн руб.	Капитальные вложения, млн руб.	Простой срок окупаемости, лет
Усть-Омчуг — Охотск (7 ДЭС)*	220	430	11 000/800		
Бриахан — П. Осипенко	110	55	1800/130	400	4
Албазино — Оглоңги	35	65	850/60	450	8
Монгохто — Тумнин — Тулучи	35	75	900/60	500	9
Селихино — Нижнетамбовское — Ягодный	35	105	1550/110	750	8
Де-Кастри — Санники — Мариинское — Булава	35	85	2000/140	600	5
Биробиджан — Кукан — Наумовка — Догордон	35 10	60 28	400/30	450	15
Иннокентьевка — Верхний Нерген	10	23	180/13	46	4
Лидога — Верхняя Манома	10	25	170/10	50	5
Лидога — Славянка	10	12	60/4	24	6
Николаевская ТЭЦ — Озерпах	10	35	210/15	70	5
Николаевская ТЭЦ — Пуир	10	47	240/17	94	6
Кутузовка — Среднехорский	10	40	150/10	80	8
Кутузовка — Долми	10	36	200/14	72	6
Итого			8710/613	3586	6

* ВЛ не участвует в расчетах.

Всего капитальные затраты составят 3,6 млрд руб., экономия дизельного топлива и масел — 0,6 млрд руб., простой срок окупаемости программы — шесть лет.

Строительство распределительных сетей позволит перевести на централизованное энер-

госнабжение 18 000 человек (60% проживающих в зоне децентрализованного энергоснабжения) и снизить расход дизельного топлива на 19 000 т (на 70%). Это приведет к существенному сокращению тарифов. Сегодня тариф (за исключением населения) в поселке Охотск составляет около 35 руб./кВт·ч, а будет примерно 9 руб./кВт·ч, в поселке Булава — 36 руб./кВт·ч, а будет около 8 руб./кВт·ч. Снизить тарифы можно в 4–4,5 раза [7, 8].

Еще одной причиной высоких тарифов в ТИЭР является неэффективное использование установленной мощности дизельных электростанций (КИУМ).

Время использования установленной мощности электростанций в целом по ЕЭС России в 2019 г. составило 4384 ч, или 50,04% календарного времени (коэффициент использования установленной мощности). При этом время использования установленной мощности без учета электростанций промышленных предприятий составляет:

- тепловых электростанций — 4002 ч (или 45,68% календарного времени (коэффициент использования установленной мощности));
- атомных электростанций — 6992 ч (или 79,82% календарного времени);
- гидроэлектростанций — 3841 ч (или 43,85% календарного времени);
- ветровых электростанций — 1745 ч (или 19,91% календарного времени);
- солнечных электростанций — 1239 (или 14,14% календарного времени).

КИУМ ДЭС в 2018 г. составил 16,9% (табл. 6).

Выводы

Развитие ЕНЭС на территориях с децентрализованным энергоснабжением в Российской Федерации позволит:

- снизить тарифы в разы, доведя их до средних по региону;

References

1. *Modernizatsiya ob'ektov generatsii v izolirovannykh i trudnodostupnykh territoriyakh* [Modernizing Generation Facilities in Isolated and Inaccessible Territories]. Ministerstvo energetiki RF, available at: <https://minenergo.gov.ru/node/16540>.
2. Il'kovskii K.K. *Povyshenie kachestva upravleniya innovatsionnym razvitiem sistemami maloi energetiki v energoizolirovannykh raionakh* [Improving the Quality of Innovative Development Management of Small Energy Systems in Energy-Isolated Areas]. Moscow, Moskovskii pechatnik, 2010.
3. Akhmetshina G.R., Il'kovskii K.K., Kusimov M.R. *Analiz osobennostei, tekhnologicheskii izolirovannykh energoraionov, uchityvaemykh pri razrabotke programm optimizatsii lokal'noi energetiki* [Analysis of the Features of Technologically Isolated Energy Areas Taken into Account in Developing Optimization Programs for Local Power Engineering]. *Mikroekonomika*, 2019, no 5, pp. 64–68.
4. *Standart organizatsii* [Organization Standard]. OAO RAO "EES Rossii", available at: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/NRG_system.pdf.
5. *Peredacha elektroenergii na bol'shie rasstoyaniya* [Long Distance Power Transmission]. Fond obrazovatel'nykh proektov "Nadezhnaya smena", available at: http://www.fondsmena.ru/media/publicationfiles/Peredacha_EE_na_bolshie_rasstoiania_2012.pdf.

Таблица 6

КИУМ ДЭС

Субъект Российской Федерации	Мощность генерации, кВт	Выработка электроэнергии, млн кВт·ч	КИУМ, %
Республика Саха	205 338	280,9	15,6
Камчатский край	116 794	182,3	17,8
Красноярский край	114 063	175,4	17,6
Ямало-Ненецкий АО	88 467	155,4	20,1
Хабаровский край	81 748	104,8	14,6
Архангельская область	46 362	61,8	15,2
Сахалинская область	43 358	114,2	30,1
Ненецкий АО	35 329	23,9	7,7
ХМАО — Югра	25 327	38,6	17,4
Иркутская область	21 622	32,6	17,2
Республика Коми	17 785	14,2	9,1
Приморский край	11 295	15,3	15,5
Республика Тыва	7645	11	16,4
Магаданская область	4930	6	13,9
Томская область	3756	3	9,1
Республика Карелия	3353	3,3	11,2
Республика Алтай	3032	4,2	15,8
Забайкальский край	2315	3,9	19,2
Мурманская область	1944	2	11,7
Тюменская область	1520	4,6	34,5
Амурская область	1020	2,6	29,1
Кемеровская область	479	0,8	19,1
Пермский край	100	0,7	79,9
Итого	837 582	1241,5	16,9

Источник: составлено авторами по данным [9]

- повысить надежность и качество энергоснабжения;
- сделать энергию доступной и увеличить полезный отпуск;
- сократить бюджетные расходы на компенсацию разницы в тарифах;
- снизить нагрузку на ОРЭМ, сократив перекрестное субсидирование неэффективной генерации;
- снизить выбросы CO₂.



ПЭС 20034 / 10.04.2020

Источники

1. Модернизация объектов генерации в изолированных и труднодоступных территориях [Электронный ресурс] // Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/16540>.
2. Ильковский К.К. Повышение качества управления инновационным развитием системами малой энергетики в энергоизолированных районах. М.: Московский печатник, 2010.
3. Ахметшина Г.Р., Ильковский К.К., Кусимов М.Р. Анализ особенностей, технологически изолированных энергорайонов, учитываемых при разработке Программ оптимизации локальной энергетики // Микроэкономика. 2019. № 5. С. 64–68.
4. Стандарт организации [Электронный ресурс] // ОАО РАО «ЕЭС России». URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/NRG_system.pdf.
5. Передача электроэнергии на большие расстояния [Электронный ресурс] // Фонд образовательных проектов «Надежная смена». URL: http://www.fondsmena.ru/media/publicationfiles/Peredacha_EE_na_bolshie_rasstoiania_2012.pdf.
6. Ильковский К.К., Гробман Ф.Х., Дьяконов П.М. и др. Программа развития малой энергетики Республики Саха (Якутия) и промежуточные итоги ее реализации // Горный журнал (специальный выпуск). 2004. С. 52–54.
7. Приказ об установлении тарифов на электрическую энергию (мощность), поставляемую покупателям на территории Магаданской области в зоне централизованного электроснабжения на 2020 год [Электронный ресурс] // Департамент цен и тарифов Магаданской области. URL: https://deptarif.49gov.ru/documents/one/index.php?id=30932&file_url=/common/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/common/upload/16/document/prikaz_040_30932_31.12.2019_1.pdf.
8. Постановление Комитета по ценам и тарифам правительства Хабаровского края от 18 ноября 2019 г. № 35/33 «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для потребителей межмуниципального общества с ограниченной ответственностью „Булава Премимум“ в Ульчском муниципальном районе на 2020–2022 годы» [Электронный ресурс] // Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/465365525>.
9. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году [Электронный ресурс] // АО «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС»). URL: https://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf.

6. Il'kovskii K.K., Grobman F.Kh., D'yakonov P.M., et al. Programma razvitiya maloi energetiki Respubliki Sakha (Yakutiya) i promezhutochnye itogi ee realizatsii [Small Energy Development Program of the Republic of Sakha (Yakutia) and Interim Results of Its Implementation]. *Gornyi zhurnal (spetsial'nyi vypusk)*, 2004, pp. 52–54.

7. *Prikaz ob ustanovlenii tarifov na elektricheskuyu energiyu (moshchnost'), postavlyаемuyu pokupatelyam na territorii Magadanskoj oblasti v zone tsentralizovannogo elektrosnabzheniya na 2020 god* [Decree on Establishing Tariffs for Electric Energy (Power) Supplied to Customers on the Territory of the Magadan Region in the Zone of Centralized Power Supply for 2020]. Departament tsen i tarifov Magadanskoj oblasti, available at: https://deptarif.49gov.ru/documents/one/index.php?id=30932&file_url=/common/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/common/upload/16/document/prikaz_040_30932_31.12.2019_1.pdf.

8. *Postanovlenie Komiteta po tsenam i tarifam pravitel'stva Khabarovskogo kraja ot 18 noyabrya 2019 g. N 35/33 "Ob ustanovlenii tsen (tarifov) na elektricheskuyu energiyu dlya potrebitel'ev mezhmunitsipal'nogo obshchestva s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Bulava Premium" v Ul'chskom munitsipal'nom raione na 2020–2022 gody"* [Resolution of the Committee on Prices and Tariffs of the Government of the Khabarovsk Territory Dated November 18, 2019 No. 35/33 "On Establishing Prices (Tariffs) for Electric Energy for Consumers of the Bulava Premium intermunicipal Limited Liability Company in the Ulchi Municipal District for 2020–2022"]. *Kodeks*, available at: <http://docs.cntd.ru/document/465365525>.

9. *Otchet o funktsionirovanii EES Rossii v 2019 godu* [Report on the UES of Russia Functioning in 2019]. AO "Sistemnyi operator Edinoi energeticheskoi sistemy" (AO "SO EES"), available at: https://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf.