

## Анализ графиков нагрузки потребителей децентрализованных зон электрообеспечения

*О.В. Архипова, Е.А. Дюба, Ю.Д. Евстегнеева, В.З. Ковалев,*

*А.О. Парамзин, О.А. Петухова*

*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск*

**Аннотация:** В настоящей статье объектом исследования являются населенные пункты децентрализованной зоны электрообеспечения, входящие в регионально обособленный электротехнический комплекс. Представлены результаты исследования зависимостей основных интегральных показателей суточных графиков электрической нагрузки от численности жителей населенного пункта. Показано, что искомая зависимость удовлетворительно описывается уравнением второго порядка.

**Ключевые слова:** график электрической нагрузки, децентрализованная зона электрообеспечения, регионально обособленный электротехнический комплекс, аппроксимация.

Российская Федерация имеет в своем составе значительное количество малонаселенных территорий. По экспертным оценкам [1] они занимают более 60% площади страны. Прежде всего это территории Дальнего Востока и Сибири. Количество жителей находящихся здесь поселений непостоянно, варьируется в зависимости от сезона. Характерный диапазон численности населения от 30 до 1000 человек. Общемировая и Российская тенденция подхода к электрообеспечению указанных поселений [2-4] базируется на использовании возобновляемой или альтернативной энергетики. Решение возникающей при этом задачи устойчивого и качественного электрообеспечения, в полной мере отвечающего парадигме энергосбережение – энергоэффективность - надежность [5,6], возможно лишь при активном использовании источников возобновляемой энергии (ИВЭ) или нетрадиционных источников энергии [7,8] различного типа. Системный учет взаимных влияний и взаимодействий [9] элементов составляющих ИВЭ и традиционных источников энергии неизбежно приводит к задачам диверсификации [10], минимизации экологического ущерба при высокой энергетической эффективности [11,12], оптимизации структуры ИВЭ [13] на

---

базе [14-16] математического моделирования. При оптимизации состава и алгоритмов взаимодействия указанных выше источников энергии широко используются энергетические [17,18] и кластерные [19] подходы. Целевую функцию, в данном случае, следует конструировать, учитывая особенности потребителя электрической энергии [20] и все составляющие жизненного цикла ИВЭ [21] формируемого электротехнического комплекса генерации электрической энергии. Указанному условию максимально соответствуют подходы, строящиеся на применении критерия «средней расчётной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла электростанции» [21 - 23] Levelised Cost of Energy (LCOE).

Особенность данной выборки – географически удаленное расположение и, соответственно, «изоляция» от централизованной системы электроснабжения. В большинстве своем, на сегодняшний день проблема электрификации изолированной от электроснабжения зоны решается за счет объединения дизель-генераторных установок (ДГУ) различной мощности в электростанцию. Для постоянной и бесперебойной работы дизельной электростанции (ДЭС) необходимо гарантированное наличие дизельного топлива. Что осложнено ограниченными сроками навигации, погодными условиями, а зачастую и отсутствием устойчивых транспортных путей. Все это непосредственно ведет к росту себестоимости [24] электрической энергии производимой ДГУ.

В настоящее время более перспективным решением проблемы электроснабжения труднодоступных районов становится применение альтернативных источников энергии. Например, внедрение фотоэлектрических панелей, а также ветрогенераторных установок в комплексе с ДГУ – так называемые [25, 26] гибридные электростанции (ГиЭ). В связи с особенностями рассматриваемой климатической зоны, для

использования данных технологий необходимо проведение детального анализа метеорологических и аэрологических показателей за несколько лет.

В условиях Крайнего Севера, к эксплуатации автономных энергетических систем и производству электроэнергии предъявляются особые требования:

- высокое качество электроэнергии при условии непостоянства возобновляемых источников и стохастических колебаний нагрузки;
- низкая себестоимость энергии;
- эффективность и надежность работы;
- приспособленность к особым климатическим условиям;
- низкое воздействие на окружающую среду;
- приемлемые расходы на эксплуатацию.

Соразмерность мощностей основного оборудования и электрической нагрузки потребителя, в изолированных энергетических системах, требуют точного согласования режима производства-накопления-потребления электрической энергии. Характерные потребители электрической энергии (ПЭЭ) делятся на виды: бытовой (потребление населения), социальный (общественные учреждения), производственный и смешанный. Необходимым условием построения ГиЭ, удовлетворяющей условиям Крайнего Севера, является прогноз потребления электрической энергии, как кратковременный, для решения оперативных задач, так и отвечающий понятию LCOE, то есть прогноз на протяжении всего жизненного цикла. Основным инструментом здесь служит аппарат анализа графиков нагрузки потребителей электрической энергии. Знание графиков нагрузки и их прогноз позволяет оптимально управлять потоками энергии в электротехническом комплексе ГиЭ – ПЭЭ.

В качестве объекта исследования, в данной работе, принимаем выборку в количестве шести поселений децентрализованной зоны Югры [27], они

---

представляют характерные типы поселений и электрических нагрузок, ранжированные по количеству жителей (таблица 1).

Таблица №1

Децентрализованные районы ХМАО-Югра (выборка)

№ п/п	Населенный пункт	$P_u$ , установленная мощность, кВт	$N$ , количество жителей, чел.
1	с.Ванзеват	660	266
2	с.Елизарово	960	404
3	п.Кирпичный	1080	646
4	д.Шугур	1000	693
5	п.Урманский	2160	892
6	п.Кедровый	2823	1100

Важным направлением является [28 - 30] прогнозирование электропотребления, которое строится, как правило, на обобщенных статистических данных. Основные, используемые в дальнейшем анализе, физические показатели:  $P_m$  - максимальная мощность станции, кВт;  $P_{ср}$  - среднесуточная мощность, кВт – средняя нагрузка за сутки;  $P_{ск}$  - среднеквадратичная мощность, кВт – эффективная нагрузка, не изменяющаяся в течение промежутка времени. Расчетные данные сведены в таблицы 2,3.

Основные, используемые в дальнейшем анализе, относительные показатели:  $K_{з.г.}$  - коэффициент заполнения графика, о.е. - отображает плотность заполнения графика за исследуемый период времени.  $K_m$  - коэффициент максимума, о.е. - определяется отношением расчётной активной мощности к средней нагрузке за наиболее загруженный период времени. Расчетные данные сведены в таблице 4.

Таблица №2

Суточная электрическая нагрузка, зима

№ п/п	Населенный пункт	W, кВт*ч	P <sub>ср</sub> , кВт	P <sub>ск</sub> , кВт	P <sub>т</sub> , кВт
1	с.Ванзеват	141496	190	192	328
2	с.Елизарово	263779	355	360	640
3	п.Кирпичный	206214	310	315	587
4	д.Шугур	137968	326	332	620
5	п.Урманый	372823	501	510	984
6	п.Кедровый	654913	881	899	1801

Таблица №3

Суточная электрическая нагрузка, лето

№ п/п	Населенный пункт	W, кВт*ч	P <sub>ср</sub> , кВт	P <sub>ск</sub> , кВт	P <sub>т</sub> , кВт
1	с.Ванзеват	55454	77	82,2	263,4
2	с.Елизарово	74657	127,2	133,6	342,2
3	п.Кирпичный	101736	141,3	148,1	388,5
4	д.Шугур	117953	163,8	168	379,5
5	п.Урманый	134598	186,9	198,3	588,6
6	п.Кедровый	18038	295,7	297,7	357,3

Таблица № 4

## Интегральные показатели

Населенный пункт	Количество жителей	Зима		Лето	
		Км	Кз.г.	Км	Кз.г.
с.Ванзеват	266	1,72	0,58	3,42	0,29
с.Елизарово	404	1,81	0,55	2,69	0,37
п.Кирпичный	646	1,89	0,53	2,75	0,36
д.Шугур	693	1,9	0,53	2,32	0,43
п.Урманый	892	1,96	0,51	3,15	0,32
п.Кедровый	1100	2,04	0,49	1,21	0,83

Интегральные параметры (табл. 4) характеризуются значительными разбросами: Км – от 1,21 до 3,42 и Кз.г – от 0,29 до 0,83. Особенно выражены отличия коэффициента зимнего и летнего максимума. По нашему мнению такой разброс вызван существенными различием в численности населения между населенными пунктами и соответствующими особенностями формирования электрической нагрузки.

В качестве инструмента проверки данной гипотезы принимаем метод наименьших квадратов.

Серия вычислительных экспериментов показала, что наиболее адекватно корреляционная зависимость интегральных коэффициентов Км и Кз.г. от числа жителей населенного пункта описывается уравнением вида:

$$y = ax^2 + bx + c$$

Коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, средняя ошибка аппроксимации, для данного случая, приведены в таблице 5.

Таблица №5

Оценка корреляционной зависимости интегральных показателей от числа жителей

	Зима		Лето	
	Км (1)	Кз.г. (2)	Км (3)	Кз.г. (4)
Коэффициент корреляции	0,9946	0,9888	0,7449	0,8574
Коэффициент детерминации	0,9891	0,9777	0,5549	0,7351
Средняя ошибка аппроксимации, %	0,4993	0,6567	16,99	21,46

Анализ показывает, для зимнего периода, вполне удовлетворительное описание квадратичным уравнением корреляционной зависимости интегральных коэффициентов Км и Кз.г. от числа жителей населенного пункта (средняя ошибка аппроксимации менее одного процента). Для летнего периода – описание весьма приближенное (средняя ошибка аппроксимации доходит до 22%), его применение в практических расчетах может внести существенное искажение, особенно в задачах прогноза. Выявленная особенность связана с нестабильным количеством жителей в летний период времени (отпуска, сезонная работа,...), что вызывает изменение характера электрической нагрузки и режима электропотребления.

### Литература

1. Елистратов В.В. Оптимальные решения системы автоматического управления энергокомплексов средней мощности на основе возобновляемых



источников энергии // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. №2. С. 69-85.

2. Шеина С.Г., Грачев К.С. Лучшие европейские практики для внедрения возобновляемых источников энергии в РФ // Инженерный вестник Дона. 2019. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5993](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5993)

3. Шеина С.Г., Пирожникова А.П. Тенденции развития альтернативной энергетики в странах мира и России // Инженерный вестник Дона. 2016. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720)

4. Штайнер В.Ю., Питык А.Н., Архипова Е.С., Колотиенко М.А. Энергосбережение в России: основные проблемы и перспективы // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564)

5. Сеньков А.В. Способы многоаспектного управления комплексными рисками // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519)

6. Соснина Е.Н., Шалухо А.В. Исследование риска от стохастического характера генерации в изолированных системах с возобновляемыми источниками энергии // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность. Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI. Под редакцией Дуникова Д.О., Попеля О.С.: 2018. С. 213-218.

7. Соснина Е.Н., Крюков Е.В., Веселов Л.Е. Выбор мини-ТЭЦ на ТОТЭ для электроснабжения сельскохозяйственных предприятий // Инженерный вестник Дона. 2016. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3747](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3747)

8. Костюков В.А., Шевченко В.А. Особенности электромеханического управления комплексной силовой энергетической установкой с ветропреобразовательным устройством вихревого типа // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5299](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5299)

---



9. Хамитов Р.Н., Ковалев В.З., Архипова О.В., Есин С.С. Модель регионально обособленного электротехнического комплекса с учетом графиков электрической нагрузки потребителей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. №12-2. С. 200-204.

10. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Ижбулдин А.К. Автономные энергоисточники на севере дальнего востока: характеристика и направления диверсификации // Пространственная экономика. 2018. №1. С. 101-116.

11. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Липужин И.А., Кечкин А.Ю., Ворошилов А.А. Повышение эффективности децентрализованных систем электроснабжения // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. №3 (122). С. 81-91.

12. Rudenko N.V., Ershov V.V., Evstafiev V.V. Improvement of ecological and resource-consumption properties of hybrid power supply plants of mobile base stations// International Conf. on Industrial Eng., Application. and Manufact. (ICIEAM). 16-19 May 2017, St.-Petersburg, Russia. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076240

13. Ковалев В.З., Архипова О.В. Методика оптимизации структуры парка ветро-дизельных электростанций // Нефтегазовое дело. 2014. №4. С. 112-125.

14. Архипова О.В., Ковалев В.З., Хамитов Р.Н. Методика моделирования регионально обособленного электротехнического комплекса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. №1. С. 173-180.

15. Elmohlawy A.E., Ochkov V.F., Kazandzhan B.I. Modeling and Performance Prediction of Solar Parabolic Trough Collector for Hybrid Thermal Power Generation plant under Different Weather Conditions. AIP Conference Proceedings vol. 2047, 020002 (2018). doi.org/10.1063/1.5081635

---

16. Велькин В.И., Денисов К.С. Разработка компьютерной программы VIZPRORES для оптимизации микрогенерирующей системы на базе возобновляемых источников энергии // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2018. №1. С. 5-9.

17. Ковалев В.З., Архипова О.В. Энергетические аспекты регионально обособленного электротехнического комплекса // Вестник Югорского государственного университета. 2015. №S2 (37). С. 217-218.

18. Kovalev V.Z., Arkhipova O.V. Mathematical modeling of regional isolated electrotechnical complex // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. №16. С. 5481-5484.

19. Нго Ань Туэт Модель формирования регионального кластера возобновляемых источников энергии во Вьетнаме // Экономическая наука сегодня. 2018. №7. С. 304-313.

20. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Совершенствование и модернизация систем и средств энергообеспечения сельхозпредприятий – важнейшее направление снижения энергоемкости сельхозпроизводства // Вестник ВИЭСХ. 2018. №1(30). С. 3-11.

21. Маслеева О.В., Эрдили Н.И. Экономический анализ энергетической составляющей жизненного цикла возобновляемых источников энергии // Интеллектуальная электротехника. 2019. №3. С. 102-110.

22. Соснина Е.Н., Солнцев Е.Б., Липужин И.А. Анализ характеристик возобновляемых источников энергии и факторов влияющих на себестоимость выработки электроэнергии // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI. Под редакцией Дуникова Д.О., Попеля О.С., 2018. С. 114-120.

23. Калимуллин Л.В. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии // Вестник ИГЭУ. 2019. №1. С. 42-54.

24. Суюнчев М.М., Файн Б.И. Мировой опыт формирования систем ценообразования на электрическую энергию, производимую объектами распределенной генерации // Актуальные проблемы современности: наука и общество. 2018. №4 (21). С. 61-65.

25. Григораш О.В., Кривошей А.А., Смык В.В. Автономные гибридные электростанции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №124. С. 1441-1452.

26. Новых А.В., Свириденко И.И., Гоголев Г.В. Повышение эффективности гибридной электростанции с помощью виртуальной электростанции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2019. №2. С. 87-96.

27. Информация о расходах электроэнергии на собственные и хозяйственные нужды // Официальный сайт АО Юграэнерго URL: [ugra-energo.ru/upload/files/energy/sobstvn2018.pdf](http://ugra-energo.ru/upload/files/energy/sobstvn2018.pdf) (дата обращения: 01.12.2019)

28. Ковалев В.З., Хамитов Р.Н., Тюньков Д.А. Спектральный анализ ретроспективных данных выработки электрической энергии солнечными электростанциями // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2019. №3. С. 844-852.

29. Guo, Z., K. Zhou, S. Yang and X. Zhang, 2018. A deep learning model for short-term power load and probability density forecasting. Energy, 160, pp. 1186-1200.

30. Demyanenko, T.S. Model of short-term forecast of electrical energy consumption of ural united power system by separating of a maximal similarity

---

sample into the positive and negative levels // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2017. V.4, №3.pp.1 1-18.

### References

1. Elistratov V.V. Avtonomnye sistemy. 2019. №2. pp. 69-85.
2. Sheina S.G., Grachev K.S. Inzenernyj vestnik Dona, 2019. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5993](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5993)
3. Sheina S.G., Pirozhnikova A.P. Inzenernyj vestnik Dona, 2016. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3720)
4. Shtajner V.Ju., Pityk A.N., Arhipova E.S., Kolotienko M.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2017. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564)
5. Sen'kov A.V. Inzenernyj vestnik Dona, 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4519)
6. Sosnina E.N., Shaluhu A.V. IV Mezhdunarodnyj kongress REENCON-XXI: Trudy, 2018. pp. 213-218.
7. Sosnina E.N., Krjukov E.V., Veselov L.E. Inzenernyj vestnik Dona, 2016. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3747](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3747)
8. Kostjukov V.A., Shevchenko V.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2018. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5299](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5299)
9. Khamitov R.N., Kovalev V.Z., Arkhipova O.V., Esin S.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. №12-2. pp. 200-204.
10. Saneev B.G., Ivanova I.Ju., Tuguzova T.F., Izbuldin A.K. Prostranstvennaja jekonomika. 2018. №1. pp. 101-116.
11. Sosnina E.N., Shaluhu A.V., Lipuzhin I.A., Kechkin A.Ju., Voroshilov A.A. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2018. №3 (122). pp. 81-91.



12. Rudenko N.V., Ershov V.V., Evstafiev V.V. International Conf. on Industrial Eng., Application and Manufact. (ICIEAM). 16-19 May 2017, St.-Petersburg, Russia. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076240
13. Kovalev V.Z., Arkhipova O.V. Neftegazovoe delo. 2014. №4. pp. 112-125.
14. Arkhipova O.V., Kovalev V.Z., Khamitov R.N. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2019. №1. pp. 173-180.
15. Elmohlawy A.E., Ochkov V.F., Kazandzhan B.I. AIP Conference Proceedings vol. 2047, 020002 (2018). doi.org/10.1063/1.5081635
16. Vel'kin V.I., Denisov K.S. Novye informacionnye tehnologii v obrazovanii i nauke. 2018. №1. pp. 5-9.
17. Kovalev V.Z., Arkhipova O.V. Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. №S2 (37). pp. 217-218.
18. Kovalev V.Z., Arkhipova O.V. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. №16. S. 5481-5484.
19. Ngo an' tuet. Jekonomicheskaja nauka segodnja. 2018. №7. pp. 304-313.
20. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Vestnik VIJeSH. 2018. №1 (30). pp. 3-11.
21. Masleeva O.V., Jerdili N.I. Intellektual'naja jelektrotehnika. 2019. №3. S. 102-110.
22. Sosnina E.N., Solncev E.B., Lipuzhin I.A. IV Mezhdunarodnogo kongressa REENCON-XXI: Trudy. 2018. pp. 114-120.
23. Kalimullin L.V. Vestnik IGJeU. 2019. №1. pp. 42-54
24. Sujunchev M.M., Fajn B.I. Aktual'nye problemy sovremennosti: nauka i obshhestvo. 2018. №4 (21). pp. 61-65.



25. Grigorash O.V., Krivoshej A.A., Smyk V.V. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. №124. pp. 1441-1452.

26. Novyh A.V., Sviridenko I.I., Gogolev G.V. Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jenergetika. 2019. №2. pp. 87-96.

27. Oficial'nyj sajt AO Jugrajenergo URL: [ugra-energo.ru/upload/files/energy/sobstvn2018.pdf](http://ugra-energo.ru/upload/files/energy/sobstvn2018.pdf) (accessed 01/12/2019)

28. Kovalev V.Z., Hamitov R.N., Tjun'kov D.A. Jelektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". 2019. №3. pp. 844-852.

29. Guo, Z., K. Zhou, S. Yang and X. Zhang, 2018. Energy, 160, pp. 1186-1200.

30. Demyanenko T.S. Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2017. V. 4, № 3. pp. 11-18.