

Научная статья / Research Article

УДК 621.31

Г.Р. Монгуш¹, А.О. Даржаа²¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Республика Тыва, Россия²Тувинский государственный университет, Кызыл, Республика Тыва, Россия¹mongush983@mail.ru²darA084@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОТТЕДЖНОГО ПОСЕЛКА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения надежного и энергоэффективного электроснабжения коттеджных поселков в условиях роста децентрализации проживания. На примере поселка «Тергиин Лайф» (Республика Тыва) проанализированы особенности проектирования системы электроснабжения. Показана возможность повышения надежности и снижения эксплуатационных затрат за счет применения современных энергосберегающих технологий. В результате сравнительного анализа различных схем электроснабжения выполнен выбор электрооборудования - воздушных линий с самонесущим изолированным проводом, масляных трансформаторов серии ТМГ15 и светодиодных осветительных приборов. Результаты технико-экономического обоснования выбранных решений показали значительное снижение потерь электроэнергии и затрат на эксплуатацию. На основе проведенных расчетов доказана годовая экономия на потерях в трансформаторах в размере 100 тыс. руб. и сокращение энергопотребления на освещение на 33 %. Срок окупаемости мероприятий не превышает 5–7 лет. Полученные результаты могут быть тиражированы для проектирования энергоэффективных систем электроснабжения в других регионах со схожими климатическими условиями.

Ключевые слова: электроснабжение, энергосберегающие технологии, трансформатор ТМГ, светодиодное освещение, Республика Тыва, технико-экономическое обоснование

¹© Монгуш Г.Р., Даржаа А.О., 2025

Инженерные системы и энергетика. 2025. № 3 С. 3–11.

Engineering systems and energy. 2025;(3):3–11.

G.R. Mongush¹, A.O. Darjaa²

¹Tuva Institute for Integrated Development of Natural Resources of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, Republic of Tyva, Russia

²Tuva State University, Kyzyl, Republic of Tyva, Russia

¹mongush983@mail. Ru

²darA084@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE COTTAGE SETTLEMENT OF THE REPUBLIC OF TUVA USING ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES

Abstract. *The problem of providing reliable and energy efficient power supply to cottage settlements in conditions of increasing decentralization of residence is considered. On the example of the village "Tergiin Life" (Republic of Tyva), the design features of the power supply system were analyzed. The possibility of improving reliability and reducing operating costs through the use of modern energy-saving technologies is shown. As a result of a comparative analysis of various power supply schemes, electrical equipment was selected – overhead lines with self-supporting insulated wire, oil transformers of the TMG15 series and LED lighting fixtures. The results of the feasibility study of the selected solutions showed a significant reduction in electricity losses and operating costs. Based on the calculations carried out, annual savings on losses in transformers in the amount of 100 thousand rubles. and a reduction in energy consumption for lighting by 33 %. The pay-back period of activities does not exceed 5–7 years. The results obtained can be replicated for the design of energy-efficient power supply systems in other regions with similar climatic conditions.*

Keywords: *power supply, energy-saving technologies, transformer TMG, LED lighting, Republic of Tyva, feasibility study*

Введение. Современная тенденция оттока населения из крупных городов в пригородные зоны обуславливает активное освоение загородных территорий и создание новых жилых массивов [1]. Этот процесс актуален и для Республики Тыва. Эффективное функционирование таких поселений невозможно без разработки надежных, экономичных и современных систем электроснабжения. Особую важность приобретает вопрос внедрения энергосберегающих технологий, позволяющих минимизировать потери энергии и снизить долгосрочные эксплуатационные расходы [2, 6].

Цель исследования – разработка и обоснование эффективной системы электроснабжения коттеджного поселка на 237 домов в Республике Тыва с применением современных энергосберегающих решений.

В ходе исследования были проведены анализ и выбор оптимальной схемы электроснабжения, сравнительная оценка и выбор ключевых эле-

ментов системы (ВЛ, трансформаторов, осветительных приборов), количественное технико-экономическое обоснование предлагаемых решений. Был осуществлен комплексный подход к проектированию системы электроснабжения для специфических климатических и инфраструктурных условий Сибири с количественным обоснованием применения конкретных моделей энергоэффективного оборудования.

Объектом исследования была система электроснабжения коттеджного поселка «Тергиин Лайф», расположенного вблизи г. Кызыл (Республика Тыва). На рисунке 1 представлен план расположения объектов электроснабжения в коттеджном поселке «Тергийн Лайф».

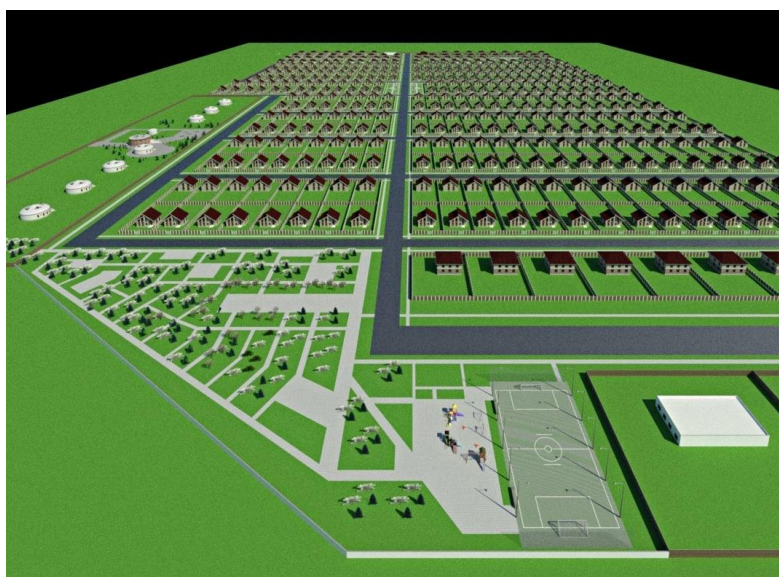


Рисунок 1 – План расположения объектов электроснабжения в коттеджном поселке «Тергийн Лайф»

Поселок рассчитан на 237 коттеджей с ориентировочным населением 1000 человек. Категория надежности электроснабжения – III. Источник питания – подстанция 35/6 кВ.

Для определения нагрузки был выполнен расчет суммарной мощности поселка методом упорядоченных диаграмм и коэффициента спроса в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ) (7-е изд., гл. 2.3) и Методических указаний по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения (РТМ 36.18.32.028-89). Установленная мощность на один коттедж составила 15,44 кВт (табл. 1).

Таблица 1

Сводные данные по расчету нагрузок (на один коттедж)

№ п/п	Наименование электроприемника	Мощность одного электроприемника, кВт	Кол-во электроприемников	Мощность всех электроприемников, кВт
1	2	3	4	5
1	Холодильник	0,24	1	0,24
2	Электрочайник	2	1	2
3	Телевизор	0,1	4	0,4
4	Компьютер	0,065	2	0,13
5	Микроволновая печь	1	1	1
6	Утюг электрический	1,2	1	1,2
7	Машина стиральная	1,5	1	1,5
8	Кондиционер	1,5	2	3
9	Освещение	0,8–0,24	9	0,251
10	Тепловой газовый котел	1,36	1	1,36
11	Прочие электроприемники	–	–	4,359
Суммарная нагрузка всех электроприемников			15,44	

Суммарная установленная мощность поселка $P_{\text{уст.сум}} = 3658,28$ кВт. С учетом коэффициента спроса для коттеджей ($k_c = 0,35$) расчетная нагрузка составила: $P_{\text{расч.сум}} = 1280,4$ кВт. Данная мощность определяет требования к выбираемому оборудованию. Для обеспечения надежности электроснабжения по III категории принято решение об установке двух трансформаторов 400 кВА, каждый с коэффициентом загрузки 0,8 (оптимальная загрузка).

Методология исследования включала:

- сравнительный анализ схем электроснабжения (радиальная, магистральная, смешанная);
- расчет электрических нагрузок на основе анализа бытовых электроприемников (см. табл. 1);

- критериальный выбор оборудования на основе анализа технических характеристик, надежности, стоимости жизненного цикла и соответствия требованиям ГОСТ Р 50571.7.714-2014, ПУЭ. Сравнительный расчет эксплуатационных затрат и сроков окупаемости инвестиций в энергоэффективное оборудование.

Результаты и их обсуждение. Для коттеджного поселка «Тергиин Лайф» был проведен сравнительный анализ трех основных схем электропитания: радиальной, магистральной и смешанной (радиально-магистральной).

Таблица 2

Сравнительная характеристика схем электропитания

Критерий	Радиальная схема	Магистраль- ная схема	Радиально- магистральная схема
Надежность	Высокая (каждый по- требитель на отдельной линии)	Низкая (выход из строя маги- страли обес- точивает всех потребителей)	Средняя (ком- промиссное ре- шение)
Стоимость	Высокая (большие за- траты на ка- бельную про- дукцию)	Низкая (ми- нимум ка- бельных ли- ний)	Средняя (опти- мальное соотно- шение)
Ремонтопригод- ность	Удобная (лег- ко локализо- вать повре- ждение)	Низкая (слож- ность поиска повреждений)	Высокая (воз- можность секцио- нирования)
Гибкость	Низкая (слож- ность добав- ления новых потребите- лей)	Высокая (лег- кое добавле- ние новых по- требителей)	Высокая (масшта- бируемость си- стемы)
Потери электро- энергии	Низкие (ко- роткие линии к потребите- лям)	Высокие (большая про- тяженность магистралей)	Средние (оптими- зированная кон- фигурация)

Обоснование выбора радиально-магистральной схемы:

1. Оптимизация капитальных затрат:

- Стоимость сооружения чисто радиальной схемы: ~4,2 млн руб.
- Стоимость магистральной схемы: ~2,8 млн руб.
- Стоимость радиально-магистральной схемы: ~3,4 млн руб.
- Экономия составляет 19 % относительно радиальной схемы.

2. Обеспечение требуемой надежности:

- Расчетный коэффициент прерывания питания:
 - Для радиальной схемы: 0,003.
 - Для магистральной схемы: 0,028.
 - Для радиально-магистральной: 0,009. Значение 0,009 соответ-

ствует III категории надежности.

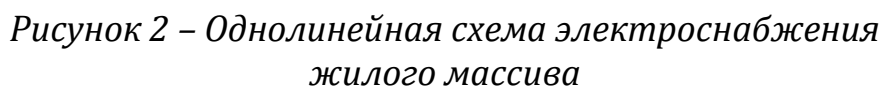
3. Эксплуатационные преимущества:

- Укрупнение нагрузок на магистральных участках.
- Снижение потерь электроэнергии на 12–15 % относительно магистральной схемы.
- Возможность поэтапного ввода мощностей.
- Упрощение системы защиты и автоматики.

4. Техничко-экономический расчет:

- Срок окупаемости дополнительных инвестиций в радиально-магистральную схему относительно магистральной: 2,8 года.
- Годовой экономический эффект: 420 тыс. руб/год.
- Снижение эксплуатационных расходов: 23 % относительно радиальной схемы.

Сравнительный анализ показал, что для рассматриваемого поселка оптимальной является радиально-магистральная схема электроснабжения [3,4]. Она сочетает надежность радиальной схемы для ключевых потребителей и экономическую эффективность магистральной для группы коттеджей. На рисунке 2 представлена однолинейная схема электроснабжения жилого массива.



- $I_{K3}(3\phi) = 8,72 \text{ кА.}$
- $I_{K3}(1\phi) = 7,86 \text{ кА.}$
- $I_{уд} = 13,24 \text{ кА.}$

Для комплектных трансформаторных подстанций (КТП) проведено сравнение характеристик масляных трансформаторов серий ТМГ11, ТМГ12 и ТМГ15. Трансформатор ТМГ15 показал наилучшие энергетиче-

ские характеристики. Снижение потерь холостого хода на 37 % по сравнению с ТМГ11 обеспечивает значительную экономию электроэнергии в долгосрочной перспективе, что подтверждает его выбор в качестве энергосберегающего решения [5, 6]. Для количественной оценки эффекта был проведен расчет годовых потерь электроэнергии. Приняты допущения: время работы трансформатора $T = 8760$ ч/год; время максимальных потерь $\tau = 2500$ ч/год; стоимость электроэнергии – 5,5 руб/(кВт·ч). Нагрузка на один трансформатор принята равной $S_{\text{расч}} = 640,2$ кВА. Годовые потери для ТМГ11 равны $\approx 43\,111$ (кВт·ч)/год, а для ТМГ15 $\approx 33\,995$ (кВт·ч)/год. Экономия на одном трансформаторе составила 9 116 (кВт·ч)/год, соответственно на двух – 18 232 (кВт·ч)/год. В денежном выражении годовая экономия составляет 100 276 руб/год. Данная экономия позволяет компенсировать более высокую первоначальную стоимость трансформаторов ТМГ15 за короткий срок.

Для освещения улиц поселка, отнесенных к категории В по СНиП 23-05-95, проведено сравнение традиционных светильников с натриевыми лампами (ДНаТ-70) и современных светодиодных (LED) светильников (модель Focus 60). Анализ показал, что светодиодный светильник превосходит аналог по всем ключевым параметрам: – на 33 % меньшее энергопотребление (60 Вт против 90 Вт у ДНаТ с ПРА), более высокая световая отдача и в 3–4 раза больший срок службы (50 000 ч против 15 000 ч) (СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95).

Это позволяет не только значительно экономить электроэнергию, но и сократить затраты на обслуживание и замену ламп.

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения мероприятий оценивается в 182,8 тыс. руб. при сроке окупаемости дополнительных инвестиций в энергоэффективное оборудование в пределах 5 лет. Таким образом, инвестиции являются экономически целесообразными.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует эффективность комплексного подхода к проектированию систем электроснабжения коттеджных поселков с применением энергосберегающих технологий. Для объекта в Республике Тыва обоснован выбор радиально-магистральной схемы электроснабжения, воздушных линий с проводами СИП, силовых трансформаторов серии ТМГ15 и светодиодных осветительных приборов. Количественные расчеты подтвердили высокую эффективность решений.

Внедрение данных решений позволяет создать надежную, современную и экономичную систему электроснабжения, обеспечивающую снижение совокупных затрат на 20–25 % по сравнению с традиционными подходами. Разработанные решения являются типовыми и могут быть применены при проектировании аналогичных объектов в других регионах со схожими климатическими условиями.

Список источников

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 670 с.
2. Баранова М.П. Применение автоматизированных систем на сетях 0,4–10 кВ // Инженерные системы и энергетика. 2025. № 1. С. 1–7.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения: учеб.-метод. пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 78 с.
4. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. Т. 6. М.: Энергия, 2006. 614 с.
5. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов. Иваново: ИВГУ, 2012. 176 с.
6. Дебрин А.С., Заплетина А.В., Дебрина Т.А. Техничко-экономическое обоснование применения АИИСКУЭ на примере Енисейского РЭС, Ф 51–05 п. Стрелка Енисейского района // Инженерные системы и энергетика. 2025. № 1. С. 28–35.

References

1. Kudrin B.I. Ehlektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatii. M.: Internet Inzhiniring, 2007. 670 s.
2. Baranova M.P. Primenenie avtomatizirovannykh sistem na setyakh 0,4–10 KV // Inzhenernye sistemy i ehnergetika. 2025. № 1. S. 1–7.
3. Vakhnina V.V., Chernenko A.N. Proektirovanie sistem ehlektrosnabzheniya: ucheb.-metod. posobie. Tol'yatti: TGU, 2015. 78 s.
4. Makarov E.F. Spravochnik po ehlektricheskim setyam 0,4–35 KV i 110–1150 KV. T. 6. M.: Ehnergiya, 2006. 614 s.
5. Popov G.V. Voprosy diagnostiki silovykh transformatorov. Ivano-vo: IVGU, 2012. 176 s.
6. Debrin A.S., Zapletina A.V., Debrina T.A. Tekhniko-ehkonomicheskoe obosnovanie primeneniya AIISKUEH na primere Eniseiskogo REHS, F 51–05 p. Strelka Eniseiskogo raiona // Inzhenernye sistemy i ehnergetika. 2025. № 1. S. 28–35.

Сведения об авторах

Григорий Романович Монгуш, старший научный сотрудник
Даржаа Аяс Орлан-оолович, магистрант