

doi: 10.51639/2713-0576_2026_6_3_52

Научная статья

УДК 621.311-52

ГРНТИ 44.29.31

ВАК 2.4.2

Обоснование эффективности гибридного канала PLC/RF для интеллектуальных систем учета электроэнергии в многоквартирных домах

Роман Анатольевич Заднепровский, Юлия Борисовна Щемелева *

Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике,

Геленджик, Россия

* Da-yula@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы модернизации систем учета электроэнергии в многоквартирных домах в соответствии с требованиями Федерального закона № 522-ФЗ. Проведен анализ современных технологий сбора данных, обоснована целесообразность применения гибридного канала связи PLC/RF.

На примере реального 17-этажного жилого дома разработана трехуровневая архитектура интеллектуальной системы учета электроэнергии (ИСУЭ) на базе счетчиков РОТЕК РТМ-01/03 и концентраторов РОТЕК РТМ-04.

Выполнены расчеты надежности и экономической эффективности. Показано, что резервирование каналов связи обеспечивает коэффициент готовности тракта передачи данных 0,99980, а срок окупаемости проекта составляет 10,2 месяца при годовом экономическом эффекте 1,29 млн руб.

Ключевые слова: интеллектуальная система учета электроэнергии, гибридный канал связи, многоквартирный дом, надежность, экономическая эффективность

С 1 июля 2020 года в Российской Федерации вступили в силу требования Федерального закона № 522-ФЗ, согласно которым все новые многоквартирные дома (МКД) должны оснащаться интеллектуальными приборами учета электроэнергии, а существующий жилой фонд подлежит поэтапной модернизации. Перед энергоснабжающими организациями встает проблема выбора оптимальной технологии передачи данных между приборами учета и уровнем учета электроэнергии. В частности, это касается домов старой постройки с железобетонными перекрытиями и отсутствием слаботочных линий связи [1, 2].

Основная задача данной работы - обосновать и представить проект интеллектуальной системы управления энергоресурсами (ИСУЭ) для стандартного многоквартирного дома. В основе проекта лежит применение комбинированного канала связи - гибрида PLC и RF. Такой подход позволяет организовать автоматический сбор показаний, отслеживать параметры качества электроэнергии и удаленно регулировать нагрузку с высоким уровнем надежности.

Обзор существующих технических решений выявил, что традиционные технологии в условиях уже сложившейся городской застройки имеют серьезные недостатки:

– Проводная сеть RS-485 требует монтажа отдельных кабельных трасс, что для дома со 136 квартирами экономически неоправданно.

– Использование только радиоканала (RF) приводит к значительному ослаблению сигнала из-за железобетонных перекрытий и стен.

– Применение исключительно технологии PLC (передача данных по электросети) нестабильно из-за импульсных помех, создаваемых работой бытовых приборов.

Гибридный канал PLC/RF объединяет оба интерфейса в одном устройстве. Счетчики и концентратор динамически выбирают наилучший канал для передачи данных. При затухании PLC-сигнала (например, из-за включения мощной нагрузки) автоматически происходит переключение на RF-канал, и наоборот. Это обеспечивает резервирование без прокладки дополнительных проводов.

В качестве объекта выбран панельный жилой дом (136 квартир, постройка 2007 г.). Существующая система учета (счетчики «Энергомера СЕ 101») характеризуется отсутствием цифровых интерфейсов связи; ручным снятием показаний; коммерческими потерями 8–15 % (небаланс между ОДПУ и квартирами); невозможностью дистанционного отключения должников.

На основе технического задания разработана трехуровневая архитектура ИСУЭ, как показано на рисунке 1:

- нижний уровень: 136 однофазных счетчиков РОТЕК РТМ-01 (квартиры), 3 трехфазных РТМ-03 (общедомовой учет), 1 трехфазный РТМ-03 (офис) [3, 4];
- средний уровень: два концентратора РОТЕК РТМ-04 в одном шкафу (разделение этажей 1–9 и 10–17). Связь с квартирными счетчиками – гибридный PLC/RF, с общедомовыми – RS-485;
- верхний уровень: сервер гарантирующего поставщика (канал GSM с резервированием Ethernet).

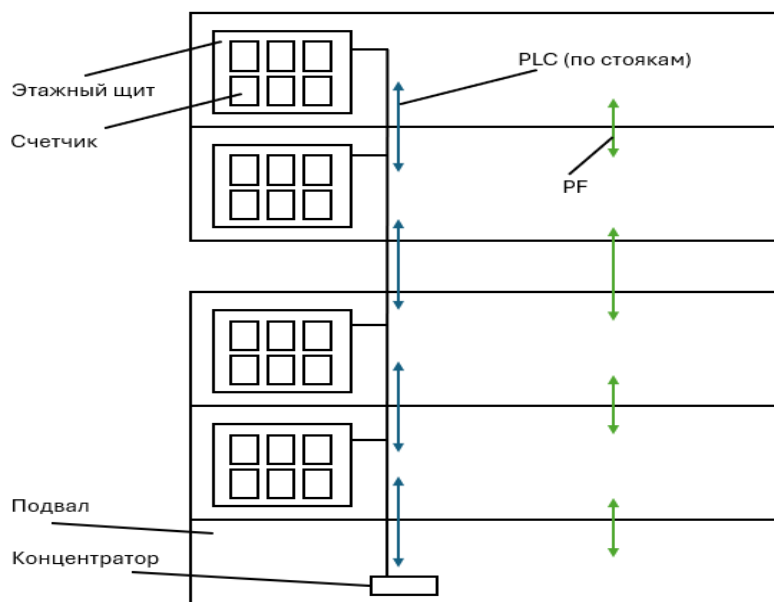


Рисунок 1 – Принцип организации гибридной сети PLC/RF в многоквартирном доме

Для количественной оценки надежности использован коэффициент готовности K_{Γ} . Исходные данные (на основе эксплуатационной статистики):

- PLC-канал: $T_0 = 8760$ ч (1 год), $T_{\text{в}} = 24$ ч $\rightarrow K_{\Gamma}^{PLC} = 0,99726$.
- RF-канал: $T_0 = 6000$ ч, $T_{\text{в}} = 12$ ч $\rightarrow K_{\Gamma}^{RF} = 0,99800$.

При параллельном резервировании (гибридный канал):

$$K_{\Gamma}^{PLC/RF} = 1 - (1 - 0,99726)(1 - 0,99800) = 0,99999452.$$

С учетом последовательного включения счетчика ($K_{\Gamma}^{\text{сч}} = 0,99993$) и концентратора ($K_{\Gamma}^{\text{конц}} = 0,99988$) общий коэффициент готовности тракта «счетчик – концентратор»:

$$K_{\Gamma}^{\text{тракт}} = 0,99993 \times 0,99999452 \times 0,99988 = 0,99980.$$

Время простоя за год составляет:

$$T_{\text{прост}} = 8760 \times (1 - 0,99980) \approx 1,75 \text{ часа.}$$

Это полностью удовлетворяет требованиям к коммерческим системам учета (норматив – менее 4 часов в год).

Капитальные затраты (CAPEX) на оборудование, материалы и монтаж составили 1 073 281 руб.

Ежегодные эксплуатационные затраты (OPEX) – 35 899 руб.

Годовой экономический эффект сформирован тремя составляющими:

1. Снижение коммерческих потерь с 10 % до 3 %: экономия 369 600 руб./год;
2. Сокращение штата контролеров на 1,5 ставки: экономия 819 000 руб./год;
3. Дополнительный доход от многотарифного учета (2 % от полезного отпуска): 105 600 руб./год.

Итого: $\mathcal{E}_{\text{год}} = 1294200$ руб./год.

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{CAPEX}{\mathcal{E}_{\text{год}} - OPEX} = \frac{1073281}{1294200 - 35899} = 0,85 \text{ года} \approx 10,2 \text{ месяца.}$$

В результате работы разработан и обоснован проект ИСУЭ для многоквартирного дома на базе гибридного канала PLC/RF [5].

Показано, что:

- резервирование каналов связи повышает коэффициент готовности до 0,99999 для физического канала и 0,99980 для полного тракта с временем простоя менее 2 часов в год;
- применение счетчиков РОТЕК РТМ-01/03 позволяет реализовать многотарифный учет, антимагнитную защиту, дистанционное управление нагрузкой и контроль качества электроэнергии;
- экономическая эффективность проекта подтверждается сроком окупаемости 10,2 месяца при годовом эффекте 1,29 млн руб.

Предложенные технические решения могут быть тиражированы для модернизации систем учета в жилых домах типовых серий, что соответствует государственной политике цифровизации ЖКХ.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что на момент подачи статьи в редакцию, у них нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников:

1. Федеральный закон от 27.12.2018 № 522-ФЗ «О внесении изменений... в связи с развитием систем учета электроэнергии».
2. Постановление Правительства РФ от 19.06.2020 № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета...».
3. Счетчики РОТЕК РТМ-01, РТМ-03. Руководства по эксплуатации. АО «НПК РоТеК», 2019–2020.
4. ГОСТ 30804.4.30-2013. Методы измерений показателей качества электрической энергии.
5. Заднепровский Р.А., Щемелева Ю.Б., Давыдов С.К. О разработке интеллектуальных систем управления энергопотреблением // Сборник трудов XVI Всероссийской Черноморской школы-семинара. – Геленджик, 2025. – С. 228–231.

Justification of the Efficiency of a Hybrid PLC/RF Channel for Intelligent Electricity Metering Systems in Apartment Buildings

Roman Anatolyevich Zadneprovsky, Yulia Borisovna Shchemeleva ^{*}
*Branch of Southern Federal University in Gelendzhik,
Gelendzhik, Russia*
^{*} Da-yula@yandex.ru

Abstract

The article addresses the modernization of electricity metering systems in apartment buildings in accordance with the requirements of Federal Law No. 522-FZ. An analysis of modern data collection technologies is conducted, and the feasibility of using a hybrid PLC/RF communication channel is substantiated. Using a real 17-story residential building as a case study, a three-level architecture of an intelligent electricity metering system (IEMS) is developed based on POTEK RTM-01/03 meters and POTEK PTM-04 concentrators. Calculations of reliability and economic efficiency are performed. It is shown that communication channel redundancy ensures a data transmission path availability factor of 0.99980, while the project payback period is 10.2 months with an annual economic effect of 1.29 million rubles.

Keywords: intelligent electricity metering system, hybrid communication channel, apartment building, reliability, economic efficiency