Организация высокоскоростной сети в многоквартирных домах на основе технологии Power Line Communication

А.А. Жаднов, А.Ю. Прокофьева

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Аннотация **– В статье рассматривается возможность организации высокоскоростной сети передачи данных в многоквартирных жилых домах на основе технологии Power Line Communication (PLC), обеспечивающей передачу информации по существующей электрической проводке. Рассмотрены принципы построения PLC-сетей, особенности современных стандартов HomePlug AV2, включая использование технологии MIMO, а также проведено сравнение PLC с беспроводной технологией Wi-Fi. Основное внимание уделено оценке пропускной способности сети на примере девятиэтажного многоквартирного дома с 18 квартирами в одном подъезде. На основе расчёта затухания сигнала, отношения сигнал/шум (SNR) и применения формулы Шеннона определены теоретические характеристики канала связи и оценена скорость передачи данных при различном количестве одновременно активных абонентов. Дополнительно исследовано влияние длины линии электропередачи на качество канала и пропускную способность сети. Полученные результаты позволяют оценить потенциальные возможности и ограничения применения технологии PLC при построении высокоскоростной сетевой инфраструктуры многоквартирных жилых зданий.**

Ключевые слова **– связь по линиям электропередачи, PLC-адаптеры, пропускная способность сети, HomePlug AV2, SNR.**

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительной цифровизации современного общества возрастает потребность в надёжных и удобных способах организации локальных сетей в многоквартирных домах (МКД). Методы построения сетевых инфраструктур, такие как, прокладка витой пары, использование Wi-Fi не всегда оптимальны. Они требуют значительных экономических затрат. Тем более это не эффективно в старых домах, где прокладка Ethernet-кабеля – сложная и дорогостоящая операция.

На этом фоне всё больший интерес вызывает технология PLC (Power Line Communication), позволяющая передавать данные по существующим электрическим проводам. Адаптеры PLC преобразуют цифровые сигналы в высокочастотные, которые распространяются по бытовой электросети как физической среде. Данные передаются на частотах 1–86 МГц, не мешая основной функции проводки – передаче электроэнергии [1]. Вместо прокладки отдельных кабелей для Интернета сигнал может передаваться по бытовой электропроводке. Используя адаптеры PLC, можно расширить радиус действия локальной сети и поддерживать высокую скорость передачи данных по всему зданию.

В связи с урбанизацией и ростом числа многоквартирных домов возникает необходимость в быстром развёртывании высокоскоростных сетей передачи данных без значительных инвестиций в новую инфраструктуру. Технология PLC позволяет использовать существующую электрическую сеть 220 В в качестве среды передачи данных, обеспечивая теоретическую скорость до 2 Гбит/с с использованием современных стандартов G.hn Wave2 и HomePlug AV2. Это особенно актуально для многоквартирных домов с 50–200 квартирами, где традиционные кабели Ethernet или оптоволоконные кабели имеют ограничения по доступу и стоимости [2].

В данной статье основное внимание уделяется сетям PLC в многоквартирных домах с акцентом на расчёты, гарантирующие приемлемую скорость передачи [3].

I. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ PLC-АДАПТЕРОВ

История технологии PLC уходит корнями в начало XX века, когда по линиям электропередач передавали телеграфные и диспетчерские сигналы. В 1920-х годах использовали проводку для простых сигналов в энергетике, а в 1990-х появились попытки построения компьютерных сетей по ней. В тестах 2001 года была достигнута скорость 14 Мбит/с, однако помехи существенно снижали качество связи. [4].

Но только в начале XXI века данную технологию начали внедрять для передачи данных в локальных сетях. В марте 2000 года результатом объединения нескольких крупнейших телекоммуникационных компаний стал альянс Home Plug Powerline Alliance, организованный с целью совместного исследования, разработки и проведения испытаний. Кроме того, было решено принять единый стандарт на передачу данных

по системам электропитания. В настоящее время в состав Home Plug Powerline Alliance входит более сотни организаций.

Прототипом Power Line является технология Power Packet фирмы Intellon, которая легла в основу единого стандарта Home Plug1.0 (принят альянсом Home Plug 26 июня 2001 года). Максимальная скорость передачи данных для нее составляла 14 Мбит/с. Сегодня стандарт Home Plug AV поддерживает скорость передачи данных до 200 Мбит/с.

Стоит заметить, что Home Plug – не единственный пакет существующих спецификаций. Помимо Home Plug имеются и другие – это широкополосная технология, поддерживаемая международной ассоциаций UPA (Universal Powerline Association), а также технология с одноименным названием, которая была разработана рядом влиятельных японских компаний, объединившихся в альянс HD-PLC (High-Definition Powerline Communications). В Европе вклад в разработку PLC-технологии внёс альянс OPERA (Open PLC European Research Alliance).

В декабре 2008 г. институтом стандартизации ITU-T был принят международный стандарт на высокоскоростную передачу данных по линиям электросетей, телефонным и коаксиальным кабелям. Новый стандарт ITU-T (G.9960), называемый также G.hn, – это пакет спецификаций канального и физического уровней, который унифицирует принцип построения проводных домашних сетей. В конце 2008 г. впервые появился международный стандарт, позволяющий в полной мере использовать потенциал проводных сетей, в которых в качестве физической среды передачи данных используются линии электросети, коаксиальный или телефонный кабели. За обеспечением совместимости всех сетей, созданных на базе G.hn, наблюдает некоммерческая организация Home Grid Forum, одним из основателей которой является компания DS2.

В июле 2005 г. институт IEEE объявил о создании рабочей группы, которая занималась подготовкой стандарта Broadband Power Line. Объектом изучения были приняты конкурирующие и несовместимые между собой спецификации использования электросетей для высокоскоростной передачи данных. Спецификации были представлены альянсом Home Plug Powerline Alliance, корпорацией Panasonic и компанией DS2.

В результате был одобрен первый проект стандарта: IEEE P1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. В проекте стандарта предусматривается возможность использования на физическом уровне двух несовместимых между собой способов модуляции (FFTOFDM и Wavelet OFDM). Более того, допускалась возможность использования двух несовместимых между собой методов прямой коррекции ошибок [5].

II. PLC КАК ГИБРИДНОЕ РЕШЕНИЕ

В жилых и офисных зданиях наблюдается взрывной рост спроса на высокоскоростные приложения и автоматизацию. Сетевая инфраструктура должна масштабироваться, чтобы удовлетворить эти потребности и обеспечить доступ для различных устройств и приложений. Хотя беспроводная связь повсеместна, а её эффективность значительно улучшена благодаря недавним поправкам к стандарту IEEE 802.11, беспроводные сети часто сталкиваются с проблемами покрытия и перегрузки из-за ограниченного нелицензированного спектра, что не гарантирует высокого качества обслуживания конечных пользователей. Сегодня спрос на связь стремительно растет во всех средах от жилых и офисных зданий в сельской и городской местности до различных видов транспорта [6]. Многие приложения предъявляют к технологиям связи множество требований: мобильность, простота использования, производительность и надёжность. Производительность часто измеряется пропускной способностью или задержкой. Оба показателя зависят от нескольких сетевых уровней и характеризуются качеством обслуживания (QoS – Quality of Service). Беспроводная связь доминирует в жилых и офисных сетях, предлагая мобильность и привлекательные скорости передачи данных. Однако из-за особенностей архитектуры здания часто остаются «слепые зоны» – сигналы ослабляются стенами [7]. К распространённым проблемам относятся помехи от соседних сетей и ограниченное количество не мешающих каналов (особенно при использовании стандарта 802.11ac на частотах 80/160 МГц) [8]. Перегрузка усугубляется тысячами подключённых устройств: смартфоны, планшеты, носимые гаджеты, устройства автоматизации. Компания Transformal Insights прогнозирует, что к 2030 году будет работать боле 24,1 млрд подобных устройств [9]. Появляются приложения, требующие много ресурсов: AR, 4K/8K стриминг, игры, видеоконференции, облачные хранилища. Wi-Fi приближается к пределу ёмкости по ширине канала, а Ethernet относительно дорог в развёртывании, поэтому нужны дополнительные среды передачи. Одно из возможных решений – использование технологии PLC. Ее преимуществом являются нулевые затраты на кабель, Plug&Play, покрытие 100% помещений, интеграция с IoT (счётчики, датчики). Но у технологии PLC существуют и ограничения - чувствительность к импульсным помехам, помехам от лифтов, микроволновок и т.п.

III. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PLC

На Рис. 1 показана общая блок-схема подключения абонента к PLC. В многоквартирном доме сеть

формируется по общим кабель-каналам - от вводно-распределительного устройства (ВРУ) в подвале через этажные щиты к квартирным розеткам.

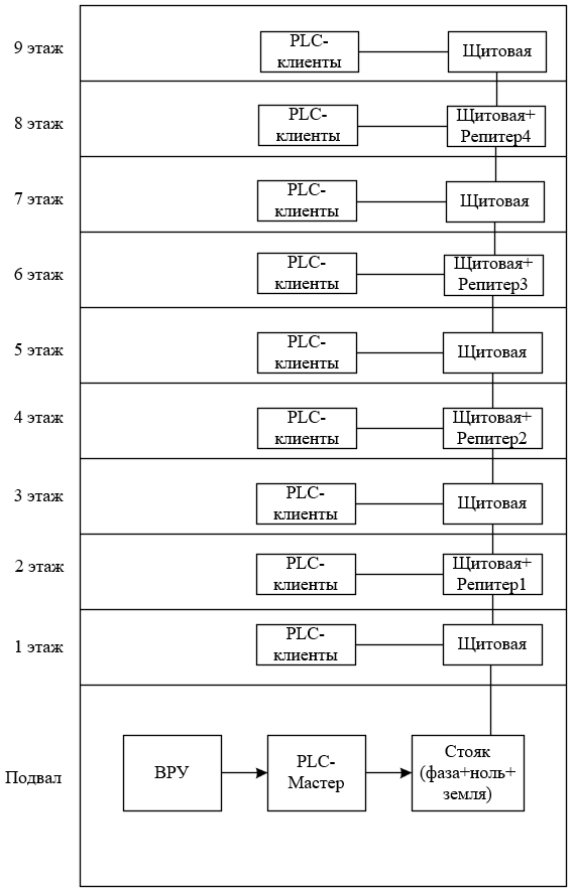

Рис. 1. Типовая блок-схема подключения абонента к PLC (ВРУ – вводно-распределительное устройство)

В типичном МКД высотой 9–17 этажей проводка как правило алюминиевая или медная, с длиной линий 100–300 м от щита до крайних квартир. Фазовое разделение (три фазы + ноль) требует репитеров для межфазовой передачи, иначе скорость падает на 50–70%. Современные адаптеры (например, TP-Link AV2000, devoloMagic [10] поддерживают технологию MIMO. Функция широко используется в системах связи для увеличения пропускной способности и обеспечения выигрыша за счёт разнесения сигналов без использования дополнительной полосы пропускания или мощности передачи. Home Plug AV – это система антенн (под антенной понимается одна из жил кабеля) первого поколения PLC с одним входом и одним выходом (SISO), использующая фазовый и нейтральный электрические провода. Технология MIMO относится к поколению Home Plug AV2, которая использует любые две пары проводов, образованные фазой, нейтралью в качестве двух MIMO-антенн. Антенной может быть любая пара проводов L, N и PE (см. Рис.3) [11].

На Рис. 2 показана общая блок-схема цифрового модема PLC (модулятора/демодулятора). В передатчике к модему PLC можно подключить несколько типов внешних устройств с различными протоколами связи через подходящий интерфейс передачи данных, который должен быть совместим с используемым стандартом PLC.

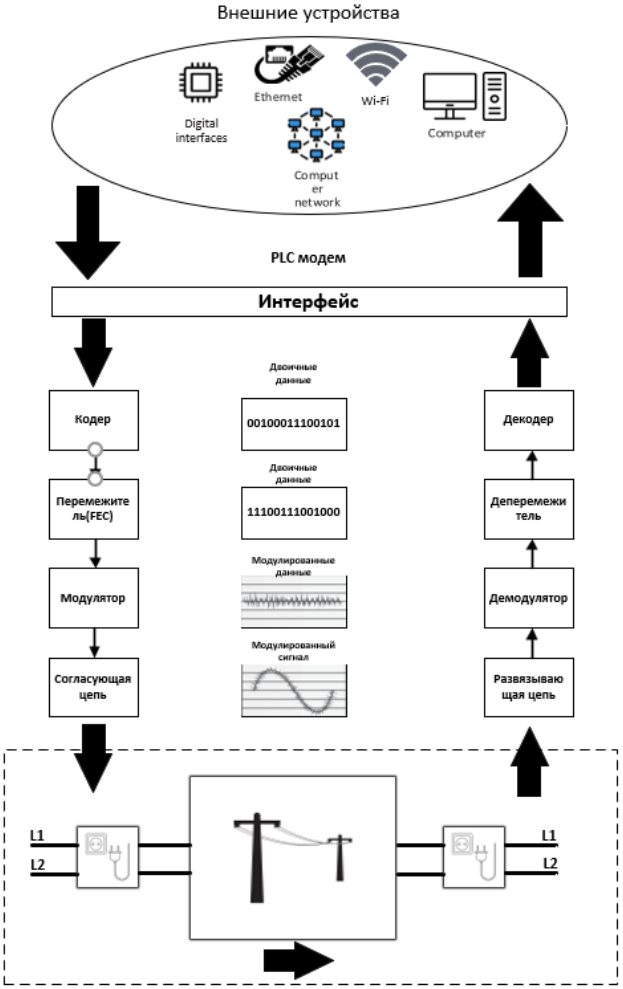

Рис. 2. Типовая блок-схема PLC-модема

Передаваемая информация в двоичном формате кодируется с помощью схемы прямой коррекции ошибок и дополняется контрольными битами для защиты информации от ошибок, вызванных помехами в линиях электропередачи. Затем модулятор преобразует закодированный битовый поток в аналоговый сигнал для эффективной передачи по кабелям электропередачи. Модулированный сигнал подается в электрические кабели с помощью схемы связи, которая обычно представляет собой аналоговый фильтр. На приёмной стороне схема развязки, которая также является фильтром, ослабляет сигнал электропередачи частотой 50/60 Гц и нежелательные электрические шумы, выбирая только частотный диапазон модулированного информационного сигнала.

Демодулятор преобразует аналоговый сигнал из схемы развязки в закодированный битовый поток, который может содержать ошибки, вносимые каналом связи и шумами в линии электропередачи. Наконец, битовый поток преобразуется и направляется в декодер, который обнаруживает и исправляет ошибки, передавая корректную информацию внешним устройствам.

IV.СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ PLC И WI-FI

В Табл. I представлены основные различия между технологиями Wi-Fi и PLC на физическом уровне.

ТАБЛИЦА I
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PLC И WI-FI

Характеристика	Wi-Fi	PLC
Частотные	2,4, 5 или 6 ГГц	1–86 МГц
Полоса пропускания в МКД	Wi-Fi 2,4 (20 МГц) Wi-Fi 5 и 6 (80/160 МГц)	(20/40 МГц)
Характер канала	Многолучевой	Многолучевой
Помехи	Да	Да
Причина частотной селективности	Отражение, дифракция, рассеяние сигнала	Импеданс бытовых приборов, автоматические выключатели, связь между фазами
OFDM	Все поднесущие используют одну схему. Wi-Fi 6 поколения построен с поднесущей 78,125 кГц.	Каждая поднесущая может использовать разную схему
Модуляция	BPSK, QPSK, 16/64/256/1024 QAM	BPSK, QPSK, 4/16/64/256/1024/4096 QAM
Метод коррекции ошибок(FEC)	BCC, LDPC	BCC, LDPC
Выбор скорости	На передатчике, по уровню ошибок пакетов	На приёмнике, с обратной связью передатчику

Последняя спецификация AV2 вводит дополнительные функции для поддержки приложений, оперирующих большими объемами данных, и повышения скорости передачи данных. По сравнению с AV она включает:

- Расширение полосы до 1,8÷86 МГц (против 1,8–30 МГц в Home Plug AV) и FFT-точек до 8192 (против 4096), для дополнительной полосы и 3455 поднесущих (против 917).
- Схему модуляции 4096-QAM, FEC-коэффициент 16/18.
- Снижение затрат на служебную информацию на MAC-уровне за счёт делителей и отложенных подтверждений.
- Поддержку MIMO (многоканальный вход/выход) с формированием луча (Рис. 3).

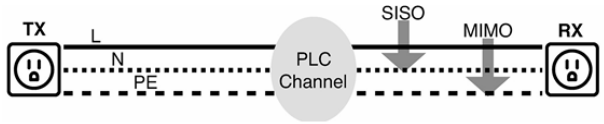

Рис. 3. Электрические кабели, используемые для MIMO (HomePlug AV2), — это фаза (Line, L), нейтраль (Neutral) и земля (PE)

Ключевой новой функцией PHY в AV2 является MIMO-передача, теоретически удваивающая пропускную способность канала. Расширения MIMO PLC – это использование трех проводов – фазы (L), нейтрали (N) и защитного заземления (PE). Первый подход к созданию модели канала MIMO был представлен в исследовании [12], где авторы представляют методологию генерации канала MIMO 2×4. Ключевая идея, предложенная авторами, заключалась в получении модели канала MIMO из канала с одним входом и одним выходом (SISO-Single Input Single Output) на основе модели европейского проекта OPERA.

V.ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ

Рассмотрим 9-этажный многоквартирный дом. Расчет сделаем для одного подъезда с двумя квартирами на этаже, т.е. для 18 квартир в подъезде (см. Рис. 1). Исходные данные (по стандарту HomePlug AV2) для расчета представлены в Табл. II.

ТАБЛИЦА II
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Параметр	Обозначение	Значение
Мощность передатчика	P	70 мВт
Полоса частот	B	1,8÷86,13 МГц
Ширина полосы частот	$\triangle B$	84,33 МГц
Число несущих	N_{SC}	3455
Шаг несущих	$\triangle f$	24,414 кГц
Удельное затухание	α_0	0,03дБ/м
Опорная частота	f_0	10МГц
Постоянная составляющая потерь	L_{const}	20дБ
Показатель частотной зависимости	k	0,6
Длина линии	d	50 м
Спектральная плотность шума	N_0	-110 дБм/Гц [13]

Переведем исходную мощность передатчика из милливатт в дБм по формуле:

$$P_{\text{дБм}} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P\,[\text{мВт}]}{1\,[\text{мВт}]}\right), \quad (1)$$

$$P_{\text{дБм}} = 10 \cdot \log_{10}(70) = 18,45\ [\text{дБм}]$$

Далее найдем затухании на линии по формуле:

$$L(f) = \alpha_0 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^k \cdot d + L_{const}, \quad (2)$$

где α_0 - удельное затухание на линии; f - рабочая частота (86,13МГц); f_0 - опорная частота; d - длина линии; L_{const} - постоянная составляющая потерь; k-показатель частотной зависимости.

Найдем по формуле (2) затухание на линии для нижней и верхней частоты соответственно:

$$L(1,8\ \text{МГц}) = 0,03 \cdot \left(\frac{1,8 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6}\right)^{0,6} \cdot 50 + 20 =$$

$$= 20,54\ [\text{дБ}],$$

$$L(86,13\ \text{МГц}) = 0,03 \cdot \left(\frac{86,13 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6}\right)^{0,6} \cdot 50 + 20 =$$

$$= 25,46\ [\text{дБ}].$$

Рассчитаем мощность на приемнике по формуле:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{дБм}} - L(f), \quad (3)$$

$$P_{\text{пр}} = 18,45 - 25,45 = -7\ [\text{дБм}].$$

Найдем полную мощность шума по формуле:

$$N = N_0 + 10\log_{10}(\Delta B), \quad (4)$$

где N - полная мощность шума; N_0 - спектральная плотность шума; ΔB - ширина полосы частот.

$$N = -110 + 10\log_{10}(84,33 \cdot 10^6) = -30,74\ [\text{дБм}].$$

Найдем спектральную плотность мощности передатчика при равномерном распределении мощности по полосе частот по формуле:

$$P_f = P_{\text{дБм}} - 10\log_{10}(\Delta B), \quad (5)$$

$$P_f = 18,45 - 10\log_{10}(84,33 \cdot 10^6) = -60,81\ [\text{дБм/Гц}].$$

При равномерной мощности передатчика и одинаковой полосе нормировки для сигнала и шума отношение сигнал/шум на частоте f можно найти по формуле:

$$SNR(f) = P_f - L(f) - N_0. \quad (6)$$

Подставим часть известных численных значений, получим:

$$SNR(f) = -60,81 - L(f) - (-110) =$$
$$= 49,19 - L(f),\ [\text{дБ}]. \quad (7)$$

Найдем отношение сигнал/шум по формуле (7), для нижней и верхней частоты, соответственно:

$$SNR(1,8\ \text{МГц}) = 49,19 - 20,54 = 28,65\ [\text{дБ}],$$

$$SNR(86,13\ \text{МГц}) = 49,19 - 25,46 = 23,73\ [\text{дБ}].$$

Как видим, наихудший показатель SNR получен для верхней частоты, что справедливо, учитывая, что согласно формуле (2) затухание на линии растет с ростом частоты.

Далее найдем линейное отношение наихудшего показателя сигнал/шум в линии. Для этого отношение сигнал/шум переводим из дБ в разы по формуле:

$$SNR_{lin} = 10^{0,1 \cdot SNR(f)}, \quad (8)$$

$$SNR_{lin} = 10^{0,1 \cdot 23,73} \approx 236.$$

Расчет пропускной способности сети производится по формуле Шеннона для одной поднесущей:

$$C_{SC} = \Delta f \cdot \log_2(1 + SNR_{lin}), \quad (9)$$

где C_{SC} - пропускная способность для одной поднесущей; Δf - шаг несущих; SNR_{lin} - линейное отношение сигнал/шум [в разах].

Найдем пропускную способность для одной поднесущей по формуле (9):

$$C_{SC} = \Delta f \cdot \log_2(1 + SNR_{lin}) = 24414 \cdot \log_2(1 + 236) =$$
$$= 192,63\ (\text{Кбит/с}).$$

Суммарная теоретическая предельная пропускная способность (скорость передачи) для всех 3455 поднесущих составляет:

$$C = C_{sc} \cdot 3455 = 192,38 \cdot 3455 \approx 665\ (\text{Мбит/с}).$$

Формула (9) определяет гарантированную минимальную скорость передачи данных при пиковой нагрузке в PLC-сети МКД при неравномерной нагрузке.

Для минимально гарантированной скорости считаем долю активных абонентов равной 100%.

При равномерном разделении общей скорости 665 Мбит/с на 18 одновременно активных квартир, скорость передачи составляет:

$$S_{\min} = \frac{665}{18} \approx 37\ (\text{Мбит/с}).$$

Таким образом, минимальная гарантированная скорость на одного абонента при длине линии 50 м составляет 37 Мбит/с.

Хотя использование MIMO-передачи, теоретически удваивает пропускную способность канала, но три проводника не означают автоматически три независимых потока, а наличие двух пар не гарантирует два независимых каналов. Для оценки пропускной способности при MIMO-передаче требуются экспериментальные измерения параметров PLC-канала в условиях реального многоквартирного жилого дома.

Скорость в PLC-канале будет возрастать, если количество одновременно активных абонентов будет снижаться (Табл. III)

ТАБЛИЦА III
СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ДОЛЕЙ АКТИВНЫХ АБОНЕНТОВ И СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Количество активных квартир	Доля активности	Скорость на одну квартиру
18	100 %	37 Мбит/с
9	50 %	74 Мбит/с
5	27,8 %	133 Мбит/с
2	11,1 %	333 Мбит/с

Используя формулы (2), (79) вычислим влияние длины линии передачи на отношение сигнал/шум и скорость передачи для наихудшего показателя SNR (для верхней частоты 86,13 МГц), результаты расчета представлены в Табл. IV.

ТАБЛИЦА IV
ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИИ НА SNR И СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ

Длина линии, d	L (86,13 МГц)	SNR (86,13 МГц)	SNR_{lin}	Скорость передачи, C
50 м	25,5 дБ	23,73 дБ	236	665 Мбит/с
100 м	30,9 дБ	18,3 дБ	67,61	514 Мбит/с
150 м	36,4 дБ	12,8 дБ	19,05	365 Мбит/с
200 м	41,8 дБ	7,4 дБ	5,49	227 Мбит/с
300 м	52,8 дБ	−3,6 дБ	0,44	44 Мбит/с

Как видно из Табл. IV длина 200 м заслуживает отдельного внимания. SNR на верхней частоте (86,13 МГц) на длине линии 200м падает до 7,4 дБ. Это означает существенное ухудшение условий передачи на верхней части спектра и падение скорости передачи почти в 3 раза. При длине 300 м отношение сигнал/шум на указанной частоте становится отрицательным, хотя линейное отношение SNR составляет около 0,44, и спектральная эффективность по Шеннону остаётся положительной. Однако на практике модем может не использовать такие поднесущие из-за требований к коэффициенту битовых ошибок (BER) и порогов демодуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В результате проведённого исследования рассмотрена возможность организации высокоскоростной сети передачи данных в многоквартирных жилых домах с использованием технологии Power Line Communication, позволяющей задействовать существующую электрическую проводку в качестве физической среды передачи информации. Показано, что применение PLC может стать альтернативой традиционным способам построения локальных сетей, особенно в зданиях, где прокладка дополнительных кабельных линий связана со значительными техническими и экономическими затратами.

Рассмотрение архитектуры современных PLC-систем показало, что использование стандарта HomePlug AV2 позволяет повысить потенциальную пропускную способность сети за счёт задействования нескольких проводников электрической линии. При этом качество передачи данных определяется характеристиками электропроводки, уровнем шумов, частотными свойствами канала и протяжённостью линии.

В рамках исследования выполнена оценка пропускной способности PLC-сети для девятиэтажного многоквартирного дома с 18 квартирами в одном подъезде. Расчёты, основанные на оценке затухания сигнала, отношения сигнал/шум и формуле Шеннона, показали, что при длине линии 50 м теоретическая суммарная пропускная способность составляет около 665 Мбит/с. При условии равномерного распределения ресурса между 18 одновременно активными абонентами расчётная скорость передачи данных на одну квартиру составляет около 37 Мбит/с. При уменьшении количества одновременно активных абонентов, например, до 9, скорость возрастает до 74 Мбит/с.

Отдельно исследовано влияние протяжённости электрической линии на характеристики канала. Установлено, что с увеличением длины линии происходит снижение отношения сигнал/шум, наиболее выраженное в верхней части используемого частотного диапазона. Так, при увеличении длины линии до 200 м значение SNR на частоте 86,13 МГц снижается до 7,4 дБ, а расчётная суммарная пропускная способность уменьшается до 227 Мбит/с. При длине 300 м отношение сигнал/шум на указанной частоте становится отрицательным, что свидетельствует о существенном ухудшении условий передачи данных.

Таким образом, проведённые расчёты подтверждают перспективность использования технологии PLC для организации сетевой инфраструктуры многоквартирных жилых домов без прокладки дополнительных линий связи. Вместе с тем достижение требуемых характеристик сети зависит от состояния электрической проводки, длины линий, наличия межфазовых соединений и электромагнитных помех. Полученные оценки следует рассматривать как

теоретические характеристики пропускной способности канала, которые требуют последующей экспериментальной проверки на реальной электрической сети.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение экспериментальных измерений параметров PLC-канала в условиях многоквартирного жилого дома, оценка влияния бытовых электроприборов и импульсных помех, а также исследование способов повышения устойчивости и пропускной способности сети при одновременной работе нескольких абонентов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Как передавать данные по электроэнергии // URL: https://arghome.ru/blog/kak-peredavat-dannye-po-elektroenergii/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F

[2] Свежий взгляд на PLC: таблица расчета сети. // URL: https://nag.ru/material/16830

[3] Измерения в сетях PLC. // URL: https://www.kometeh.ru/media/publications/2008/stat_08.pdf

[4] Построение сети доступа на базе технологии PLC // URL: https://www.rusnauka.com/31_onbg_2009/informatica/54374.doc.htm

[5] AV1200 3-Port Gigabit Passthrough Powerline Adapter // URL:https://www.tp-link.com/kz/home-networking/powerline/tl-pa8030p

[6] Мартынов, С. В. Стандарты сетей связи 5G/5G-Advanced для цифровой трансформации железных дорог и развития интеллектуальных транспортных систем / С. В. Мартынов, А. В. Осовский, Д. В. Кутузов // Системная инженерия и инфокоммуникации. – 2026. – № 1(5). – С. 40-51.

[7] Мартынов, С. В. Анализ зависимости уровня затухания сигнала от расстояния с использованием логарифмической модели / С.В. Мартынов, А. В. Осовский, Д. В. Кутузов // Системная инженерия и инфокоммуникации. – 2025. – № 3(3). – С. 33-39.

[8] IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard 802.11-1997.

[9] Transformal insights. Global IoT market to grow to 24.1 billion devices in 2030, generating $1.5 trillion annual revenue//URL: https://transformainsights.com/news/iot-market-24-billion-usd15-trillion-revenue-2030

[10] H. A. Latchman, S. Katar, L. W. Yonge, and S. Gavette, Homeplug AV and IEEE 1901. John Wiley and Sons, Inc., 2013.

[11] El Samadouny A, El Shafie A, Abdallah M, Al-Dhahir N. Secure Sum-Rate Optimal MIMO Multicasting Over Medium-Voltage NB-PLC Networks. IEEE Transactions on Smart Grid. 2018;9(4):2954–2963.

[12] Страсти по PLC // URL: https://nag.ru/material/22802

[13] Papadopoulos T.A, Batalas B.D, Radis A, et al. Medium Voltage Network PLC Modeling and Signal Propagation Analysis. In: 2007 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications; 2007. p. 284–289.

Информация об авторах

Жаднов Анатолий Александрович, магистрант второго года обучения Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, tolya-zhadnov@mail.ru

Прокофьева Алла Юрьевна, преподаватель высшей квалификационной категории ФГБОУ ВО "Астраханский государственный технический университет" ФСПО отделение "Связь и телекоммуникации", г. Астрахань, Россия, prokofevaayu@mail.ru

Organization of a high-speed network in resident buildings based on Power Line Communication

Anatoly A. Zhadnov, Alla Y. Prokopheva

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Annotation **- This article examines the feasibility of implementing a high-speed data network in multi-apartment residential buildings using Power Line Communication (PLC) technology, which enables data transmission over existing electrical wiring. It examines the principles of PLC network construction and the features of modern HomePlug AV2 standards, including the use of MIMO technology. PLC is compared with Wi-Fi wireless technology. The focus is on assessing network throughput using the example of a nine-story apartment building with 18 apartments in a single entrance. Calculating signal attenuation, the signal-to-noise ratio (SNR), and applying Shannon's equation are used to determine the theoretical characteristics of the communication channel and estimate the data transfer rate for different numbers of simultaneously active subscribers. The influence of power line length on channel quality and network throughput is also examined. The obtained results allow us to evaluate the potential and limitations of PLC technology in constructing a high-speed network infrastructure for multi-apartment residential buildings.**

Keywords **- communication over power lines, PLC adapters, network bandwidth, HomePlug AV2, SNR.**

REFERENCES

[1] Kak peredavat' dannye po elektroenergii // URL:https://arghome.ru/blog/kak-peredavat-dannye-po-elektroenergii/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F)

[2] Svezhij vzglyadna PLC: tablica rascheta seti. // URL: https://nag.ru/material/16830

[3] Izmereniya v setyah PLC. // URL: https://www.kometeh.ru/media/publications/2008/stat_08.pdf

[4] Postroenie seti dostupana baze tehnologii PLC // URL: https://www.rusnauka.com/31_onbg_2009/informatica/54374.doc.htm

[5] AV1200 3-Port Gigabit Passthrough Powerline Adapter // URL: https://www.tp-link.com/kz/home-networking/powerline/tl-pa8030p

[6] Martynov, S. V. Standarty setej svyazi 5G/5G-Advanced dlyacifrovojtransformaciizheleznyhdorogirazvitiyaintellektual'nyhtransportnyhsistem / S. V. Martynov, A. V. Osovskij, D. V. Kutuzov // Sistemnaya inzheneriya i infokommunikacii. – 2026. – № 1(5). – S. 40-51.

[7] Martynov, S.V. Analiz zavisimosti urovnya zatuhaniya signala ot rasstoyaniya s ispol'zovaniem logarifmicheskoj modeli / S. V. Martynov, A. V. Osovskij, D. V. Kutuzov // Sistemnaya inzheneriya i infokommunikacii. – 2025. – № 3(3). – S. 33-39.

[8] IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11:

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard 802.11-1997.
[9] Transformal insights. Global IoT market to grow to 24.1 billion devices in 2030, generating $1.5 trillion annual revenue//URL: https://transformainsights.com/news/iot-market-24-billion-usd15-trillion-revenue-2030
[10] H. A. Latchman, S. Katar, L. W. Yonge, and S. Gavette, Homeplug AV and IEEE 1901. John Wiley and Sons, Inc., 2013.
[11] El Samadouny A, El Shafie A, Abdallah M, Al-Dhahir N. Secure Sum-Rate Optimal MIMO Multicasting Over Medium-Voltage NB-PLC Networks. IEEE Transactions on Smart Grid. 2018; 9(4): 2954–2963.
[12] Strasti po PLC// URL:https://nag.ru/material/22802
[13] Papadopoulos T.A., Batalas B.D., Radis A, et al. Medium Voltage Network PLC Modeling and Signal Propagation Analysis. In: 2007 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications; 2007. p. 284–289.

Information about the authors

Anatoly Alexandrovich Zhadnov, second-year master's student at Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, tolya-zhadnov@mail.ru

Alla Yuryevna Prokofeva, Senior Lecturer (highest qualification category), Faculty of Secondary Vocational Education, Department of Communications and Telecommunications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, Prokofevaayu@mail.ru