**УДК 355.5**

**ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ *PLC* ТЕХНОЛОГИЙ В СЕТЯХ ДОСТУПА**

**Лушкин И.Д.** (сотрудник).

**Куваев В.О.** (сотрудник).

Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации.

**Носов М.В.** (к.т.н., сотрудник).

Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации.

**Электронный адрес:** [**ivlu71@bk.ru**](mailto:ivlu71@bk.ru)**, nosovm@mail.ru**

**Аннотация:** Данная статья посвящена рассмотрению вопроса исследования вариантов применения *PLC*-технологии (*power line communications*) в сетях доступа. Статья содержит информацию об определении возможностей по использованию технологии *PLC* в сетях доступа. В статье проводится анализ существующего оборудования *PLC*, условий его развертывания и эксплуатации, пропускной способности, помехоустойчивости и протяженности, а также тенденции по развертыванию технологических сетей связи. В соответствии потенциальными потребностями в услугах связи и по результатам произведенного анализа разработаны предложения по способам использования этих возможностей в решении задач использования технологии для удовлетворения потребностей пользователей в услугах связи в сетях доступа и сделана оценка экономической эффективности.

**Ключевые слова:** сети доступа; PLC-технологии; оборудование в сетях доступа; услуги связи; целевая функция исследования; применение технологий.

**STUDY OF POSSIBLE OPTIONS FOR THE APPLICATION OF *PLC* TECHNOLOGIES IN ACCESS NETWORKS**

**Lushkin I.D.** (employee).

**Kuvaev V.O.** (employee).

Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel.

**Nosov M.V.** (c.t.s., employee).

Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel.

**E-mail address:** [**ivlu71@bk.ru**](mailto:ivlu71@bk.ru)**, nosovm@mail.ru**

**Annotation:** This article is devoted to the consideration of the issue of studying the options of applying PLC-technology (power line communications) in access networks. The article contains information about identifying opportunities of using PLC technology in access networks. The article analyzes the existing PLC equipment, conditions of its deployment and operation, bandwidth, noise immunity and length, as well as trends in the deployment of technological communication networks. In accordance with the potential needs for communication services and the results of the analysis, proposals on how to use these features in solving the problems of using technology to meet user needs for communication services in access networks and made an assessment of economic efficiency.

**Key words:** access networks; PLC-technology; equipment in access networks; communication services; target function of the study; application of technology.

Технология *PLC* (*Power Line Communication*) — современная телекоммуникационная технология, которая основывается на использовании силовых электросетей для транспортировки информации с требуемой скоростью [1.c. 54]. Хотя, с момента своего первого применения, когда частотный диапазон начинался с низкого уровня, *PLC*-технология, сегодня повсеместно используется для высокочастотного применения, также известна как широкополосная линия электропередачи. Технология *PLC* использующая узкополосную передачу применяется на частотах 3–500 кГц, которая может быть охарактеризована совершенно небольшими скоростями транспортировки информации (до 100 Кбит/с) и достаточно обширным охватом действия (до нескольких километров), обеспечение чего происходит за счёт таких устройств, как повторители. Спрос и интерес к данной технологии соответственно велик в настоящее время. Этот вид *PLC* также применяется в мультисервисных системах, обеспечивающих процесс генерации, в данном случае, в микроинверторах для потребления солнечными панелями энергии.

Широкополосная PLC больше всего используется в методах с более высокими частотами (1,8–250 МГц до 100 Мбит/с) и достигает значительно небольшой охват. Так как этот вид *PLC* организовывает значительно быструю транспортировку данных и не требует от организаторов прокладывать дополнительные кабели связи, этот вид связи наиболее распространен в организации бытовых приложений мультимедии.

В *PLC*, как и в различных вариациях технологии связи, транспортируемые данные модулируются и отправляются приемнику адресата, где демодулируются.

В современном мире технологическая база сетей абонентского доступа стремительно развивается и изменяет свою функциональную структуру. Данные изменения связаны с: переходом на беспроводный доступ абонентов к услугам связи; увеличением потребления услуг связи для нужд передачи информации различных классов, которым требуются современные технологии передачи информации по сетям доступа; так же понижением цены на использование оптоволоконных кабелей и ростом удаленной терминальной нагрузки, влияющей на статические свойства такого ода нагрузки [1.c. 24-26].

Рассматривая термин «сеть доступа» следует дать определение, что это многочисленная совокупность аппаратных и программных средств, а также кабельных линий протяженностью от стационарного абонента, вплоть до коммутатора. В современной рыночной обстановке существует многообразие схем и технологий, основанных на сети доступа. Примером такой технологии может быть доступ, но не просто доступ, а широкополосный по модемной абонентской линии – *DSL (digital subscriber line – цифровая абонентская линия)*. Особенность данной технологии состоит в том, что реализована простая схема подключения абонентов сети и именно тех абонентов, которые преимущественно используют телефонную связь. В этом случае имеет место быть подключение *DSL* канала с *PSTN* (*Public Switched Telephone Network* – телефонная сеть общего пользования) в одной паре, следовательно, появление новой кабельной линии можно исключить [2.c. 104-106].

Выборка терминов, используемых в рекомендациях и различных материалах Международного Союза Электросвязи, сокращенно МСЭ, об абонентском доступе, включает в себя разнообразные, но несхожие с предыдущими стандартами, например, такие как:

Сеть доступа (СД) *– Access network (AN)*, представленная средствами такими, как разновидности передающих систем, систем на основе кабельных линий и многие другие системы включающие в свой состав мультиплексоры, которые организуют процедуру транспортировки информации и взаимодействие информационных услуг между *интерфейсом между терминалом узла служб (SNI – Server Name Indication)* и интерфейсом клиент-сеть (*UNI – user–network interface*) [3.c. 155-159].

Для проведения оценки правильности функционирования технологий *PLC* следует учитывать ряд важных критериев: пригодность, качество материала проводника, энергетический потенциал оборудования, пропускная способность.

Критерий пригодности – критерий, устанавливающий соответствие исследуемой системы заданным требованиям (как правило, в руководящих документах).

Качество материала проводника – критерий, включающий в себя диэлектрическую прочность для изоляции и физико-механические показатели до и после старения для изоляции и оболочки.

Энергетический потенциал оборудования – критерий, устанавливающий разность между уровнем оптического сигнала на выходе передающего и чувствительностью приемного оптических модулей.

Критерий оптимальности редко используется в такого рода исследованиях, так как его применение абстрактно и субъективно, а результаты трудно доказуемы.

В данном исследовании критерий пригодности – это правило, согласно которому стоит придерживаться таких реализаций, которые имеют возможность поддерживать заданный уровень эффективности проделываемой операции [3.c. 142-147].

Если таких решений множество, то принято считать, что все они равнозначны и могут быть выбраны пользователем с одинаковой вероятностью. Как правило в таких случаях, за основу принимается первое выдвинутое решение и дальнейший анализ используемых функций прекращается.

Целевая функция исследования будет выглядеть следующим образом:

(1.1)

где  – количество параметров, описывающих поведение системы,– пропускная способность, – уровень по пропускной способности в системе связи, – энергетический потенциал оборудования, – функционал оборудования (место в системе), – уровень пропускной способности оборудования, – уровень пропускной способности энергетического потенциала оборудования.

Для сравнения различных видов каналов связи используется такой параметр, как пропускная способность:

(1.2)

где – качество материала проводника.

По значениям данных параметров, будет определяться использование, какого оборудования на сети связи более приемлем. Для этого следует провести анализ и сравнительную характеристику схем построения сети доступа на основе технологии *PLC* [4.c. 102-109].

Для реализации новых технологий, требуется прокладка новых или дополнительных линий связи, по этому технология *PLC*, является более привлекательной для рассмотрения, так как в вариантах её реализации не обязательна организация новых кабельных линий.

Технологии *PLC* дают возможность реализовать сеть предачи данных, другими словами сеть доступа на основе имеющихся кабельных линий.

Различные способы транспортировки информации существовали значительно давно, в основе которых лежит примитивная идея разделения сигнала, то есть возможность одновременной передачи множества сигналов, что могло дать возможность увеличения скорости передачи данных. Такую реализуцию возможно осуществить с помощью метода модуляции, к тому же модулированный сигнал наиболее устойчивый к помехам в канале связи, тем самым увеличение скорости в канале происходит автоматически.

Но существует проблема в том, что способы модуляции поддерживающие достаточно плотную упаковку сигнала, основываются на сложных математических вычислениях и операциях, для этого необходима реализация более быстрых процессов обработки сигнала. Такие способы цифровой обработки сигналов, как *DSP* (*digital signal processor*), реализованы для обработки цифрового потока данных в режиме рального времени. *DSP*-процессоры достаточно распространены и повсеместно применяются для обработки и передачи различной мультимедийной информации.

Исходя из этого развитие *PLC*-технологий останавливается на том, что процессы обработки информации в режиме реального времени не так стремительно модернизируются. В настоящее время в *PLC*-технологиях применяется *OFDM* (*Orthogonal frequency-division multiplexing* — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) – модуляция, которая посредством своих функциональных составляющих, даёт возможность увеличить скорость транспортировки данных и обеспечивает достаточный уровень помехоустойчивости сигнала.

Говоря о сферах применения *PLC*-технологий, можно перечислить следующие из них: широкополосный доступ в Интернет; различные компьютерные сети; VoIP – IP-телефония; высокоскоростная передача мультимедиа; различные виды организации видеонаблюдения; построение каналов передачи цифровых данных для промышленной и домашней автоматизации;СКУД – система контроля и учета доступа; реализация систем безопасности и мониторинга [4.c. 124-126].

В основе технологии *PLC* заложена возможность реализации принципа множественного доступа «точка - многоточка». Трансформаторная подстанция, которая расположена локально на объекте поставляет определенному числу зданий электроэнергию и обеспечивает пользователей мультимедийными услугами.

Обычно в качестве оконечного оборудования следует считать *PLC*-модем, который обычно реализует интерфейс для связи с персональным компьютером: *USB(Universal Serial Bus)* , либо – *RJ-45*. Таким образом, модем подключается к источнику информации – розетке 220 В, а на выходе по соответствующему интерфейсу к персональному компьютеру. Возможен вариант, когда параллельно с ПК подключается телефон, поддерживающий режим *VoIP*.

*PLC* – системы можно классифицировать на основе напряжения в силовой сети: применяемые на высоковольтных линиях; на средневольтных линиях; на низковольтных линиях: внутри здания.

Существуют различные примеры реализации сетей доступа на основе *PLC* технологий показаны на рисунках 1, 2, 3, 4 [5.c. 122-156].

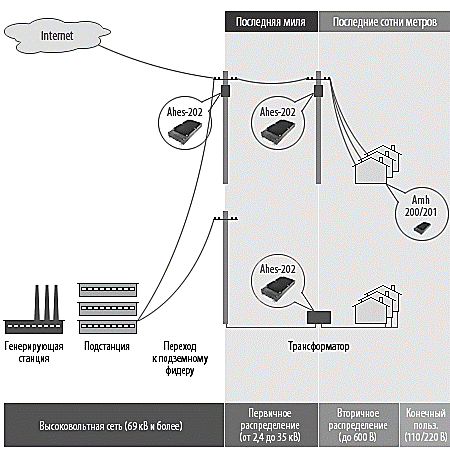
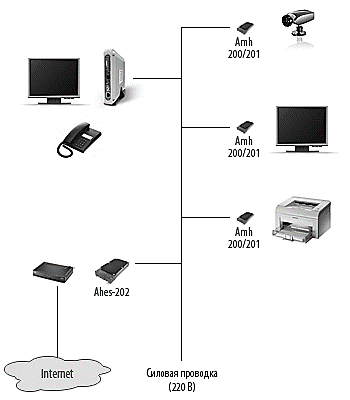
 

Рис. 1. Наружный вариант Рис. 2. Вариант внутри здания

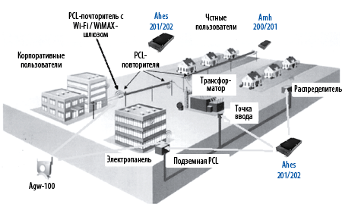
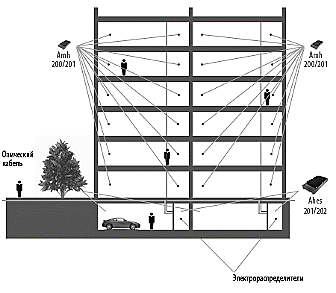


Рис. 3. Многосегментная сеть Рис. 4. Комбинированный вариант

На рисунках 1 и 2 рассмотрены варианты исполнения сети как внутри здания, так и снаружи, данный вариант использования средне-вольтной и низковольтной проводки. Показаны варианты соединения с репитерами и без репитеров. Наружный вариант использования включает в себя, организацию линий связи с внешними источниками транспортировки данных. Управление *PLC*-сетью может осуществляться как при помощи собственной системы управления, так и с помощью систем управления сторонних производителей. Главное различие наблюдается в том, какой способ подключения оборудования используется, следовательно исходя из этого и стоимость организации того или инного варианта исполнения, будет различной.

На рисунках 3 и 4 показаны более усовершенствованные способы реализации технологии. Многосегментная сеть обычно применяется в организациях здания которых имеют от 5 и более этажей, что вызывает дополнительные проблемы в прокладке кабельных линий, тем самым увеличивая затраты на реализацию. Но плюсом данной многосегментной сети является, то что оборудования здействовано меньше чем в предыдущих реализациях. Особый интерес вызывает возможность совместного использования технологии *PLC* с другими широкополосными технологиями передачи данных. В комбинированном варианте оборудование имеет возможность беспрепятственного сопряжения с другими видами техники, что облегчает реализацию сложной структуры сети, но для предоставления дополнительных услуг, требуется мультимедийное оборудование, которое влечет за собой дополнительные траты при реализации сети доступа.

Подводя итог представленным вариантам исполнения, можно скзать, что в состав *PLC*-сети входят: автоматизированные рабочие места пользователей (АРМ) – персональные компьютеры, ноутбуки. Кроме того, может быть подключено различное оборудование, например, сетевые многофункциональные устройства, телефоны/IP телефоны; абонентские *PLC*-устройства (адаптеры); пограничный *PLC*-модем осуществляющий функции маршрутизации; компоненты электропроводки.

Осуществление управления *PLC*-технологией может быть с использованием собственной системы управления, так и с системами сторонних поставщиков. В состав сети доступа на основе *PLC* технологий могут входить: автоматизированные рабочие места пользователей; пользовательские *PLC*-устройства; *PLC*-модем; линии электропередачи.

Рассматривая различные топологии построения сети доступа на основе *PLC*-технологии, следует обратить внимание на то, что в сети используется как активное, так и пассивное оборудование. В таблице 1 представлен краткий обзор PLC-модемов серий 200 и 300 компании «ТелЛинк».

Таблица 1. Оборудование в сетях доступа на основе *PLC*-технологии.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Скорость, кбит/с, физ. уровень/ уровень приложения** | **Дальность, км, без учета ретрансляции** | **Интерфейс** |
| TL300(L) | 480/160 Версия L 9,6 | 0,5 | UART/RS-485 |
| TL301(L) | 1 |
| TL302(L) | 480/160 Версия L 9,6 | 2 | RS-232/RS-485 |
| TL303 | 3 |
| TL304 | 4 | RS-232/RS-485/Ethernet |
| TL305 | 5 |
| TL310 | 10 |
| TL320 | 20 |
| TL330 | 480/160 | 30 | RS-232/RS-485/Ethernet |
| TL350 | 50–100 |
| TL350E | 100 |
| TL3010 | 1500/500 | 100 | RS-232/RS-485/Ethernet |
| TL300LED | 480/160 | 0,5 | Ethernet, ШИМ, DALI, 1-10 |
| TL300LoRa | PLC + радиомодем LoRa | |  |
| TL2010 | 20 Мбит/с | 10 | Ethernet |

Области применения PLC-модемов «ТелЛинк»: Энергетика. Система автоматического и диспетчерского управления, система централизованного учета энергопотребления, нефте-, газо- и угледобывающие отрасли. Управление освещением. Видеонаблюдение. Зарядные станции для электромобилей по стандарту домашних технологий автоматизации.

Говоря об экономическом обосновании построения сети доступа на основе *PLC* технологий, можно выделить следующие этапы: определение системы показателей качества проектируемой сети; проведение оценки частных показателей технико-экономической эффективности; формулировка выводов об эффективности [6.c. 201-205].

Общая стоимость проекта оценивается исходя из стоимости подготовки технико-экономического обоснования, проектно-сметной документации, проведения экономических и технических работ.

Для оценки экономической эффективности построения сети доступа следует ввести ограничения: расходы на изучение порядка и правил монтажа, настройки; закупка АТС, АМТС, персональных компьютеров.

Затраты на комплектующие изделия, определяются по формуле:

, (1)

где *k* – количество модемов; *C*– стоимость элементов; *n* – количество элементов. Для наглядности в таблице 1 представлены данные по типам, количеству изделий, цены и результаты расчета стоимости аппаратуры, требуемой для построения предлагаемой сети одного изделия и общей суммы. В таблице 1 также приведены данные расчетов затрат, на комплектующие изделия [15].

Таблица 1. Данные по типам, количеству изделий, цены и результаты расчета стоимости оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование покупного оборудования | Количество изделий | Стоимость, руб. |
| Установка оборудования «ТелЛинк» | 1 | 120000 |
| Абонентский модем TL-201HE(M) | 2 | 30000 |
| Магистральный модем TL-350(E) | 2 | 50000 |
| УП10 Емкостное устройство присоединения | 2 | 20000 |
| Общая сумма на закупку оборудования | | 220000 |
| Общая сумма на закупку оборудования с учетом НДС (18%) | | 259600 |

Так как предполагается, что обслуживанием системы будет заниматься штатный персонал, обслуживающий систему передачи данных, то дополнительных затрат по заработной плате не будет. Так же дополнительные затраты на ремонт не будут иметь место в соответствии с условиями гарантии.

Таким образом, примерные расчеты показывают, что построение сети на основе использования оборудования *PLC* способно повысить общую эффективность по количеству предоставляемых абоненту услуг, качеству передачи информации при рациональных  
затратах [7.c. 81-86].

Учитывая динамику развития сетей доступа, можно сказать, что технологии *PLC* в течение небольшого промежутка времени будут иметь широкое применение в построении сети доступа в различных вариацииях. На основании рассмотренного критерия пригодности, можно сделать вывод о том, что оборудование приведенное в таблицах ранее, удовлетворяет заданным требованиям пользователей, так же осуществляет рациональное функционирование в сетях доступа. Существует множество основных международных стандартов встраивания *PLC*-адаптеров практически во все приборы, используемые в сетях доступа, предусматривающие возможность транспортировку данных между взаимодействующими сегментами.

*Библиографический список:*

1. Савин А.Ф. PLC – уже не экзотика: научное издание – Пермь. Вестник связи, 2018. – 620 с.
2. Павловский А. Соломасов С. PLC в России. Специфика, проблемы, решения, проекты. ИнформКурьерСвязь: учебное пособие для вузов – Москва, 2019. – 138 с.
3. Невдяев Л.М. Мост в Интернет по линиям электропередачи: учебник для вузов – Ростов, 2019. – 174 с.
4. Курочкин Ю.С. "PLC приходит в Россию": научное издание – Псков, 2017. – 50-250 с.
5. Коноплянский Д.К. PLC - передача данных по электрическим сетям. Последняя миля: учебное пособие для вузов – Пермь, 2018. – 284 с.
6. Даффи Д. BPL набирает силу. Сети: научное издание – Москва, 2018. – 26-159 с.
7. Морриси П. Реализация технологии BPL. Сети и системы связи: учебное пособие для вузов – Санкт-Петербург, 2018. – 70-200 с.