

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЛЭП НА УЧАСТКЕ «РУЗАЕВКА-АРЗАМАС»

Дубровин В.С., Мариниченко А.А.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск  
Тел. (834-2) 29-07-98. E-mail: [dvs8937@saransk.ru](mailto:dvs8937@saransk.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы построения и модернизации ВЧ-систем связи, типы каналов передачи и передающего оборудования. Рассмотрены преимущества и недостатки, сравнительные характеристики систем связи для энергетики на линиях ЛЭП. Рассмотрена возможность модернизации существующей системы передачи данных по ЛЭП на участке «Рузаевка-Арзамас».

**Ключевые слова:** ЛЭП, ВЧ связь, каналы передачи, релейная защита и автоматика, телефония, телемеханика, АСКУЭ.

Связь всегда была неотъемлемой частью комплекса управления работой электрической системы, обеспечивающей как административно-хозяйственные, так и технологические каналы передачи информации.

Современные системы связи в энергетике должны передавать значительные разнородные по своему составу объемы информации (рис.1), как следствие этого - разные типы каналов передачи и передающего оборудования.



Рис.1. Виды передаваемой информации

**Телефония** включает в себя диспетчерскую связь, то есть связь с диспетчерскими пунктами, электростанциями и подстанциями, а так же телефонную связь общего пользования. Безусловный приоритет имеет диспетчерская связь.

**Телемеханика (ТМ)** – в энергетике область техники, связанная с передачей информации, необходимой для диспетчерского управления режимом работы энергосистемы (телеизмерение, телесигнализация, телеуправление и телерегулирование). Средства телемеханики должны обеспечивать передачу данных с минимальной задержкой времени, то есть в реальном времени [1].

Блок «**Данные**» включает: автоматизированную систему коммерческого учета энергии и мощности (АСКУЭ); данные систем диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition) и т.д. Большие объемы информации в

этом случае чаще всего передают по кабельным или радиоканалам, собственным или арендованным.

Блок релейной защиты и противоаварийной автоматики (**РЗА**) включает в себя: релейную защиту (РЗ) и противоаварийную автоматику (ПА). Релейные каналы предназначены для передачи сигналов, обеспечивающих функциональную стабильность энергосети (предотвращение и ликвидацию аварийных ситуаций), обеспечение оптимальных режимов генерации и энергопередачи [1].

В последние годы к технологии передачи данных по силовой электрической сети возник очередной серьёзный интерес, тем не менее, в сфере передачи информации по силовой электрической сети имеется ряд серьёзных проблем, таких как:

- повышение качества передачи информации за счёт использования новых способов цифровой обработки сигналов;
- радикальное снижение стоимости коммуникационных устройств за счёт применения современной микроэлектронной базы.

Следует отметить, что требования одновременного повышения качества и снижения стоимости разрабатываемого устройства (системы) находятся в противоречии, поэтому решение подобной задачи следует считать весьма актуальной.

В настоящее время в мире применяется ряд коммуникационных систем передачи информации по электрическим сетям и которые различаются областью применения, алгоритмами работы, видом модуляции, рабочими частотами и т.д.

Для передачи информации возможно [2,3] применение следующих сред передачи данных:

- грозозащитный трос с интегрированным ВЧ кабелем;
- радиорелейные каналы связи;
- спутниковые каналы связи;
- волоконно-оптические линии связи (ВОЛС);
- высокочастотная связь по высоковольтным линиям (ВЧ-ВЛ).

### ***Грозотрос с интегрированным ВЧ кабелем***

В энергетике для построения всех видов каналов связи традиционно используются медные провода, встроенные в подземный кабель или грозотрос.

К несомненным достоинствам проводных каналов можно отнести:

- широкое применение на уже спроектированных и используемых в настоящее время линиях связи;
- высокую готовность и надежность, большую наработку на отказ.

К общим недостаткам проводных каналов относятся:

- высокая чувствительность к наведенным напряжениям и потенциалам;
- чувствительность к нестационарности параметров среды передачи;
- подверженность гармоническим и широкополосным шумам, а также переходным и перекрестным помехам в многожильных кабелях;
- подверженность вандализму;
- высокая стоимость новых кабелей и прокладки по существующему объекту;
- большие времена передачи информации;
- большие времена установления соединения и его восстановления после аварийных ситуаций.

### ***Радиорелейные каналы***

До появления волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ) радиорелейные системы (РРС) традиционно использовались в энергетике, когда возникала

необходимость получения большого числа речевых каналов. РРС по сравнению с кабельными многопроводными системами более устойчивы к ЭМ полям и помехам, генерируемым ЛЭП, а во многих случаях гораздо проще их в инсталляции. Так как РРС работают в разрешенных/лицензируемых диапазонах частот, то основным принципом организации связи является многоканальное соединение «точка-точка». Для оперативной связи часто используются радиосистемы, работающие в нелицензируемых диапазонах частот, где используется принцип соединения «точка-многоточка».

Основная проблема радиосистем – нестабильность параметров среды передачи, решается выполнением тщательных проектных работ, размещением необходимого числа ретрансляторов, организацией многолучевого распространения радиосигнала, или созданием нескольких путей передачи (не зависимых, проходящих по разным трассам/направлениям передачи пучков/каналов) [2].

Основные достоинства радиосистем:

- широкополосность и масштабируемость, быстрое развертывание;
- устойчивость к шумам и помехам, генерируемым ВЛ;
- низкие перекрестные помехи;
- гальваническая развязка передатчика и приемника.

Среди недостатков радиосистем необходимо выделить:

- необходимость лицензирования, и возможное отсутствие свободных частот;
- удорожание системы из-за необходимости установки ретрансляторов;
- зависимость качества передаваемой информации от параметров среды передачи (дождь, снег и т.п.).

### ***Спутниковые каналы***

Спутниковые системы связи стали активно развиваться, когда появилась задача создания глобальной системы подвижной связи на основе небольших по размеру мобильных терминалов. Наибольшее распространение получили узкополосные системы передачи речи и данных со скоростями не более 9600 Бит/с.

К основным достоинствам спутниковых систем относятся:

- географически широкие зоны покрытия;
- легкое и быстрое развертывание наземных абонентских станций;
- электрическая изоляция между системами.

К их недостаткам относятся:

- подверженность атмосферным условиям (удары молний, снег и гололед на антеннах и др.);
- высокая стоимость организации постоянных и высокоскоростных каналов.

### ***Волоконно-оптические каналы связи***

В энергетике применяется несколько способов прокладки ВОК как по воздушным ВЛ, так и по кабельным ВЛ, обладающих теми или иными достоинствами и недостатками. Наиболее распространенный в последнее время способ прокладки – использование волоконно-оптический кабеля, встроенного в грозозащитный трос для воздушных линий (OPGW – Optical fiber composite overhead ground wire).

Многомодовые со ступенчатым или градиентным профилем показателя преломления волокна в настоящее время в основном используются для создания внутристанционных сетей. Одномодовые ступенчатые, овальные и со смещенной дисперсией волокна используются для межстанционных, региональных и государственных сетей и каналов.

Максимальная протяженность ВОСПИ ограничивается либо затуханием ОВ, либо ожидаемой скоростью передачи. Увеличивать мощность источника излучения в оптических системах более 5-10 мВт невозможно из-за того, что ОВ начинает резко деградировать (плавиться и мутнеть). Поэтому единственным способом увеличить протяженность оптического канала является установка промежуточных устройств: оптоэлектронных

конвертеров или оптических усилителей (Optical Boosters или Erbium Doped Fiber Amplifiers - EDFA), значительно удорожающих стоимость системы.

Принцип спектрального разделения каналов (WDW - Wavelength Division Multiplexing) применяется в аппаратуре волоконно-оптических систем передач как разновидность частотного разделения каналов и используется для передачи множества независимых информационных потоков одним волоконно-оптическим трактом.

Допускаются передачи аналоговых и цифровых сигналов независимо от протоколов и скоростей передачи. Каждый поток передается на своей длине волны в пределах окна прозрачности волоконного световода. Обычно это окно 1550 нм. Передача обеспечивается путем мультиплексирования отдельных несущих частот с информационными сигналами и последующим демultipлексированием передаваемого сигнала на отдельные потоки.

Подобные одноволоконные системы реализуемы, но распространения не получили из-за сложности и дороговизны, поэтому основным типом соединения в настоящее время является двухволоконное соединение «точка-точка»: одно ОВ используется для передачи, другое для приема.

Построение световодных систем «точка-многоточка» возможно при использовании так называемых оптических разветвителей, но вследствие больших затуханий в оптическом тракте такие системы имеют ограниченные размеры, и используются как внутри-объектовые. Разветвители, работающие на разных длинах волн и позволяющие строить многоточечные системы большого размера – сложны и дороги [2].

К основным достоинствам ВОСПИ относятся:

- высокие скорости передачи информации;
- полная электрическая изоляция между приемником и передатчиком;
- отсутствие проблемы выносных потенциалов;
- низкие вероятности ошибок при передаче информации.

Однако энергетика вносит свои специфические особенности, отрицательно влияющие на эксплуатационные возможности ВОК:

- значительное сокращение срока службы оптического волокна при длительном воздействии на него мощных электромагнитных колебаний;
- низкая термическая и механическая устойчивость ОВ и ВОК;
- подверженность оптических систем влиянию мультипликативных помех, вызываемых механическими вибрациями;
- высокая вероятность повреждения при аварии на ВЛ;
- потеря на длительное время огромного количества каналов при выходе из строя ВОК;
- сложный ремонт при укладке ВОК в фазных проводах или грозотросе;
- высокая стоимость инсталляции;
- дорогой дуплекс – два ОВ, WDW;
- неоправданно высокая стоимость системы, используемой только для технологических нужд, или нужд релейной защиты и автоматики (РЗА).

### ***Высокочастотные каналы***

На протяжении многих лет системы ВЧ связи используют в качестве среды передачи либо провода ВЛ, либо встроенные в грозотрос ВЧ кабели. Объясняется это не только тем, что ВЧ каналы обычно обеспечивают самые короткие и быстрые пути передачи информации, но и их невероятной надежностью и устойчивостью к различным дестабилизирующим факторам. Часто ВЧ каналы сохраняют работоспособность даже в случае разрушения ВЛ, как среды передачи [1,2].

Распространение сигнала вдоль ВЛ происходит по независимым волновым каналам (модам), число которых равно числу не заземленных проводов ВЛ. Каждая мода характеризуется своим специфическим затуханием и скоростью, которые определяются

множеством факторов: конструкцией ВЛ; погодными условиями; местностью, по которой пролегает ВЛ; частотой несущей и т.д. Типичные значения затуханий ВЧ трактов лежат в диапазоне 0.02 ... 0.2 дБ/км. Самый длинный известный ВЧ канал без переприемов – 1180 км (компания АББ, аппаратура ЕТЛ500).

Специфическим отличием ВЧ каналов по ВЛ от других проводных каналов является наличие шумов и помех, порождаемых различными независимыми источниками. Это прежде всего: шум короны; шумы связанные либо с характеристиками, либо с работой различного силового оборудования на ПС и ВЛ (изоляторы, выключатели, разъединители и т.д.).

Еще одной характерной чертой ВЧ каналов по ВЛ является быстрое изменение затухания в периоды возникновения дефектов ВЛ на величины порядка 20 ... 25 дБ.

Если для передачи сигналов команд РЗА используется комплексная ВЧ аппаратура, то для увеличения запаса по перекрываемому затуханию сигналов команд применяется техника «форсирования», состоящая в том, что на время передачи команд, часть других сигналов, передаваемых системой ВЧ связи, отключается, а высвободившаяся мощность идет на передачу команд. При передаче длительных команд, например, защиты трансформатора, использовать форсирование не рекомендуется, так как это приведет к длительному отключению речевых каналов и каналов передачи данных [2].

К несомненным достоинствам ВЧ каналов можно отнести:

- надежность существующих ВЛ, как среды передачи;
- кратчайшие и самые «быстрые» соединения между энергообъектами;
- длинные (до 1000 км) без промежуточных ретрансляторов каналы;
- стандартные соединения «точка-точка» с минимальным риском ошибки адресации и коммутации;
- среда передачи, аппаратура и каналы в большинстве случаев являются собственностью энергетиков;
- легкий контроль и обслуживание, как среды передачи, так и аппаратуры;
- «подготовленность» к различным возмущающим и дестабилизирующим факторам, которая закладывается на этапе проектирования, и является их неотъемлемой частью;
- возможность построения идеальной дифференциальной защиты (ДФЗ) при обрывах и КЗ на ВЛ.

Недостатки ВЧ каналов:

- сравнительно низкие пропускные способности и число создаваемых каналов;
- ряд частот в диапазоне несущих занят различными государственными ведомствами и службами.

Исходя из всех преимуществ и недостатков сред передачи данных, наибольший интерес для линии «Рузаевка-Арзамас» представляет ВЧ связь. Поэтому рассмотрим основные тенденции развития этого вида связи в России и Республике Мордовия в частности.

### ***Состояние ВЧ связи в энергетике***

Высоковольтные линии – готовая структура для организации каналов ВЧ связи, которые в течение еще многих лет останутся одними из самых:

- надежных видов связи, используемых для управления объектами электроэнергетического комплекса;
- экономически выгодных видов связи при передаче технологической информации на большие расстояния;
- основных каналов для передачи РЗ и ПА.

При этом весьма существенно, что ВЛ и организуемые по ним каналы связи, как правило, являются собственностью энергетического комплекса.

В настоящее время ВЧ каналы по ВЛ решают весь спектр задач по обеспечению каналами связи производственного управления энергетикой России, а его составная часть - технологическое управление - практически полностью построено на ВЧ каналах [2,4].

По данным ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС РФ» на 1 января 2003 года число ВЧ каналов по ЛЭП, обеспечивающих передачу всех видов информации, примерно равно [2,3] 60 тыс., причём 34,5 тыс. - это ВЧ линии связи. Из этого числа около 26 тыс. составляют каналы телефонной связи, передачи данных и сигналов ТМ.

Число только этих каналов (рис.2) составляет около 28% от общего числа (130 тысяч) каналов единой сети связи электроэнергетики (ЕССЭ). Более 34 тысяч ВЧ каналов (из общего числа) – это специализированные каналы РЗ и ПА, по которым передается практически 100% информации, необходимой для нужд РЗ и ПА [3].

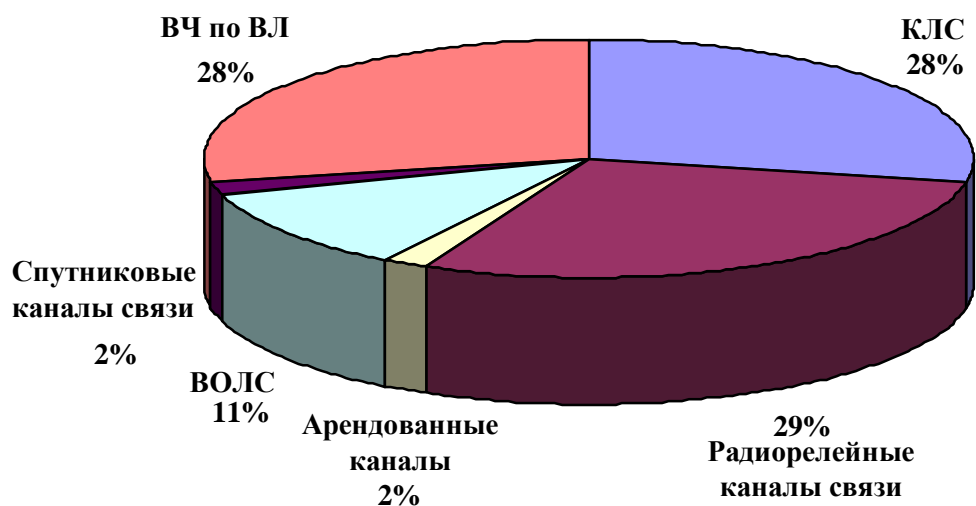


Рис. 2. Каналы связи ЕССЭ по состоянию на 01.01.2003

Объем передаваемой по ВЧ каналам информации составляет около 35% от общего объема информации (50% протяженности каналов связи), передаваемой в сети ЕССЭ.

По оценкам, произведенным ОАО «СО ЦДУ ЕЭС РФ», до 2015 года число ВЧ каналов по ЛЭП составит (15 – 20)% от общего числа каналов ЕССЭ. При этом абсолютное число ВЧ каналов по ЛЭП должно возрасти [4].

По оценкам [3] в период до 2010 ... 2015 года около 32% всех средств, вложенных РАО и ФСК в развитие технологической связи, будет затрачено на виды связи, связанные с передачей сигналов по ВЛ: ВЧ связь, РЗ и ПА. Из этих средств около 52% будет израсходовано непосредственно на ВЧ связь, 30% - на РЗ и около 18% - на ПА.

По данным «ЦДУ ЕЭС РФ» [3] на начало 2000 года требовали замены около 58% одноканальных терминалов ВЧ связи, около 20% - трехканальных и 4% - 12-канальных. Наибольшая часть средств, выделяемых на связь в энергетике в этот период, будет израсходована на развитие волоконно-оптической связи, где у России имеется значительное технологическое отставание.

Универсальных технологий для передачи данных в энергетике не существует; очевидно, что только волоконно-оптическая связь не в состоянии решить весь спектр задач по передаче данных в энергетических сетях. Как в России, так и за рубежом в области энергетики достаточно активно развиваются как волоконно-оптическая, так и ВЧ связь. Сочетание этих технологий позволит решить наиважнейшую задачу - задачу резервирования передачи данных.

Состояние ВЧ аппаратуры в настоящее время оставляет желать лучшего. Повсеместно используется морально и физически устаревшее оборудование, что приводит к авариям. Данное оборудование отличается малым числом каналов, низким качеством телефонии

практически полным отсутствием возможности передачи данных. Мировой опыт развития ВЧ связи (в связи с появлением новых комплексных устройств) убедительно показывает возможность модернизации оборудования. В 2003 ... 2004 годах обновили парки аппаратуры практически все мировые производители ВЧ техники: Siemens, Dimat, Areva (Alstom), Iskrasystemi, хотя у некоторых из них данное направление деятельности находилось в законсервированном состоянии более 10 лет. Появилось несколько новых производителей: Selta, Ensiko и другие, что так же является показателем актуальности развития этого направления в энергетике [2].

Новые виды комплексной аппаратуры позволяют организовать большее число каналов телефонной связи (до 2 в каждой полосе частот ЦВК-16, АВС-ЦМ, ETL500; до 12 Simens PowerLink); каналы передачи данных с приемлемой скоростью передачи данных, а так же поддержку Ethernet (ETL500 – 64 кбит/с; Siemens PowerLink – до 256 кбит/с; Micom T390 – до 128 кбит/с); большее число каналов РЗ и ПА, а также дополнительные сервисы [2,6,7,8].

Технические характеристики аппаратуры ВЧ связи различных производителей приведены в табл.1

Таблица 1. Сравнительные характеристики комплексного ВЧ оборудования

Наименование	Линия-У	Линия-М	ETL-500	АВС 1-3	ЕТ-8	ESB2000J
1	2	3	4	5	6	7
Производитель	ОАО «ШТЗ»	ОАО «ШТЗ»	АББ ВЭИ Метроника	«Нептун»	Iskra System	Siemens
Экспертное заключение, сертификат	есть	есть	есть	есть	есть	есть
Число каналов	1-6	1-6	1,2	1-3	1-3	1,2
Рабочие частоты, кГц	24-1000	24-1000	24-620, 40-500 (ETL 505)	32-488, 544-1000	20-1000	24-500
Разнос частот, кГц	4*n, но не менее 8 (n-число кан.)	4*n, но не менее 8, или смежные (n-число кан.)	8 или смежные	12-20, для 3-х каналов	Разнесенные или смежные	8 или смежные
Полоса НЧ канала, кГц	0,3-2,4 или 0,3-3,4 задается перемычками	0,3-2,1 0,3-2,4 0,3-3,4 0,3-3,7 программно	0,3-(2,0-3,4) программно с шагом по 200 Гц	0,3-2,4 0,3-3,4	0,3-2,4 0,3-3,7	0,3-(2,0-3,6) программно с шагом 120Гц
Мощность передатчика, Вт	10 или 90	80	5, 40, 80	10	10, 20, 40, 80	40, 80
Вх. Вых. Сопротивление, Ом	75 несимм. 150 симм. Возможность регулировки	75 несимм. 150 симм. Возможность регулировки	75, 125 несимм. 150 симм.	75 несимм. 150 симм.	50, 75, 120 несимм. 150 симм.	75 несимм. 150 симм.
Чувств. по пилот-сигналу, дБм	Мин.50	Мин.60	Мин. 30	Мин.34	Мин. 52	Мин. 32
Диапазон АРУ, дБ (норма по МЭК не менее 45)	63	45 (фактич. более 100)	40	30	Более 40	40
Эквалайзер	Ручной 9 полос	Автоматич. 11 полос	Автоматич.	Нет	Нет данных	Автоматич.

1	2	3	4	5	6	7
Избирательность, дБ	Более 65 для 1* п Более 75 для 2* п	Более 65 для 1* п Более 75 для 2* п	Более 65 для 1* п Более 75 для 2* п	100	Нет данных	Более 65 для 1* п Более 75 для 2* п
Скорость встроенного модема, Бод	100-600 надтон. диапазон. 1200, 2400 тон. диапазон.	100-1200 надтон. диапазон. 2400 тон. диапазон	50-1200 надтон. диапазон. 2400 тон. диапазон	200 (в ABC1-1TM)	50-1200 надтон. диапазон. 400 тон. диапазон	50-1200 надтон. диапазон. 2400 тон. диапазон
Встроенная РЗиПА	Опытный образец на 32 команды	нет	20 команд	нет	4 команды	4 команды
Диагностика, управление параметрами	Встроенный сервисный блок, диагностика местной и удаленной станций, список событий	Встроенный сервисный блок, диагностика и управление местной и удаленной станций, список событий	Диагностика и управление от внешнего ПК, список событий	нет	Программир. от встроенного блока управления и внешнего ПК местной и удаленной станций	Управление параметрами от внешнего ПК
Служебная связь	Встроенное переговорно-вызывное устройство	Встроенное переговорно-вызывное устройство	имеется	нет	нет	есть
Встроенная телефонная автоматика	АЛ-АТС, ДК-МБ, АДАСЭ в каждом канале	АЛ-АТС, ДК-МБ, АДАСЭ в каждом канале	есть	В 1-ом канале	есть	есть
Система компандирования	есть	есть	есть	есть	есть	Есть
Встроенное измерительное оборудование	Указатель уровня и генератор	Указатель уровня и генератор	Внешний ПК	нет	нет данных	есть
Встроенная система телесигнализации и телеуправления	10 независимых «сухих» контактов	10 независимых «сухих» контактов	нет	нет	нет	нет
Электропитание Резервное питание	Сеть 220 В 48-220 В = тока (внедр. в 2004 год)	Сеть 220 В 48-220 В = тока (внедр. в 2004 год)	Сеть 115/230 В 48 В = тока	Сеть 220 В нет	Сеть 230 В 48, 60 В = тока	Сеть 110-230 В 24- 220В = тока
Потребляемая мощность, Вт	300 (при 3 кан. и 90 Вт)	280 (при 3 кан. и 80 Вт)	245 Вт	280 (3 кан.10 Вт)	нет данных	215 (2 кан.80 Вт)
Габариты, мм.	1300*600*330 (3 канала)	1300*600*330 (6 каналов)	1100*480*350	1200*600*260	530*480*250 (80 Вт)	480*530*250
Масса, кг	70 (3кан)	70 (6 кан)	52 (ETL583)	90	нет данных.	34
Диапазон рабочих температур, 0С	Минус 5 - плюс 45	Минус 5 - плюс 45	Минус 5 - плюс 45	нет данных	нет данных	0 – плюс 55



Пример модернизации линии Рузаевка-Арзамас представлен на рисунке 3.

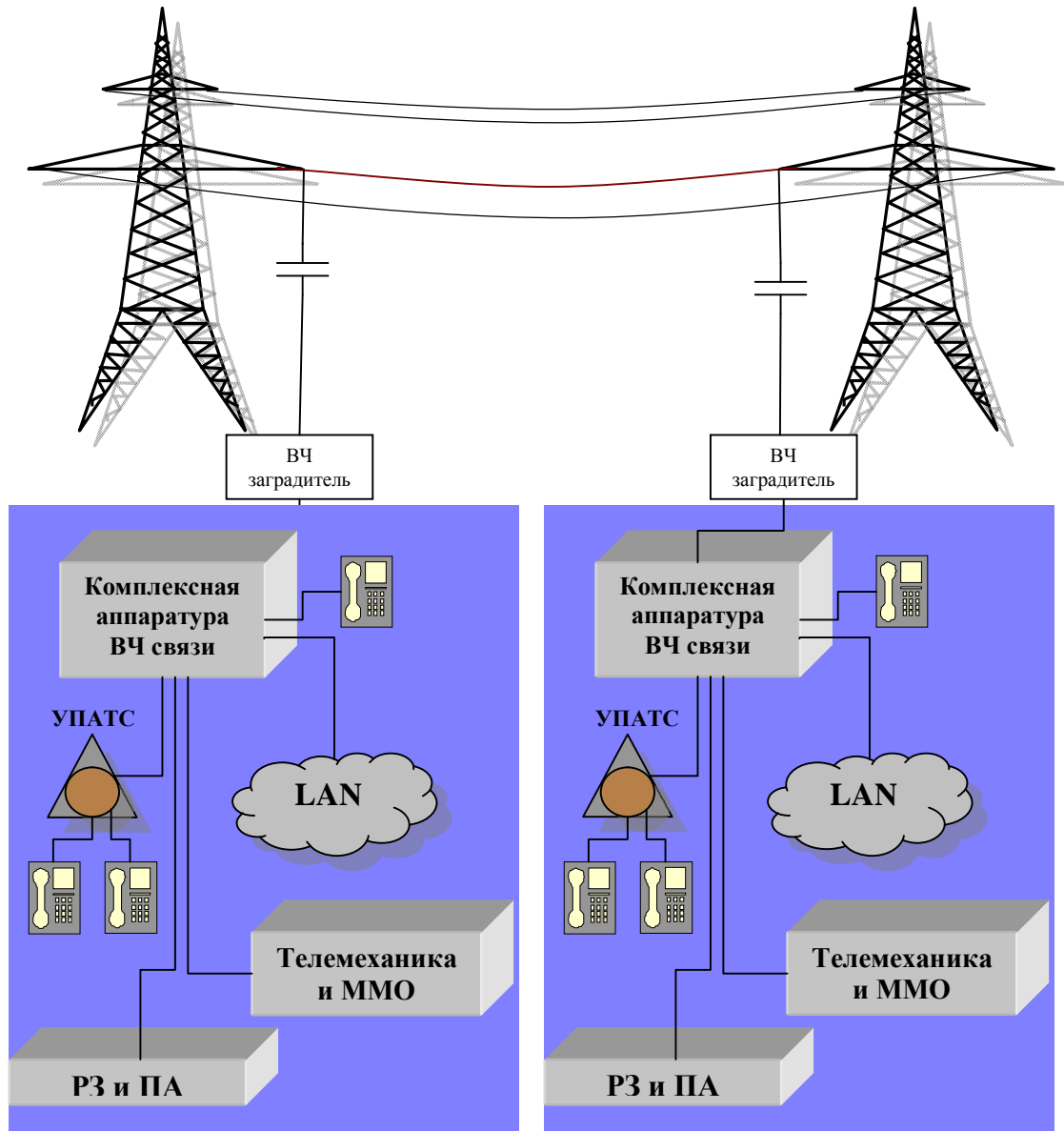


Рис. 3. схема модернизации системы передачи данных на участке Рузаевка-Арзамас

Задача выбора аппаратуры передачи данных для ВЧ связи должна решаться исходя из конкретно поставленных целей и задач. Особенного внимания заслуживает построение конвергированных сетей с дополнением волоконно-оптической технологии. Одной из первых реализаций концепции взаимного дополнения ВОСП и ВЧ связи стал проект построения сети связи Бурейской ГЭС, где передача больших объемов информации организована по ВОСП, а передача РЗ, ПА, ТМ, диспетчерской связи и скоростной канал данных 9,6 кбит/ для передачи цифровой информации систем мониторинга подстанций передается по ВЧ каналам [5].

Однако следует отметить, что у ВОЛС технологии есть существенный недостаток, по сравнению с радио и ВЧ - это сложность построения разветвленных сетевых топологий. При этом следует учитывать, что если речь идет о построении специализированных каналов, например, для систем АСКУЭ, более эффективными могут быть и другие технологии передачи – GSM, транкинговые, арендованные или спутниковые.

Проблема модернизации ВЧ систем передачи данных по ЛЭП в Республике Мордовия стоит очень остро. ВОСП не решают всех проблем связи в энергетике, поэтому применение ВЧ связи может дать значительный выигрыш, как в экономическом плане, так и в плане надежности.



Рис. 4 схема сравнения каналов связи существующих и после модернизации.

Сравнительные характеристики основных параметров существующей ВЧ связи на участке «Рузаевка-Арзамас» и предполагаемые возможности (рис.4) позволяют сделать вывод, что модернизация оборудования ВЧ связи необходима и позволит:

- значительно увеличить количество и улучшить качество существующих каналов связи;
- организовать дополнительные сервисы и каналы связи, отсутствующие в настоящее время;
- обеспечить гибкую настройку оборудования;
- повысить надёжность модернизированной сети за счёт резервирования каналов ВЧ связи и каналов ВОЛС.

#### Литература

1. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи, – 2-е изд. – М.: Энергия, 1977. – 440с.
2. Романов С.Е. Конвергированные каналы ВЧ связи. Отраслевые статьи. Интернет сайт: <http://www.romvchvlcomm.pbworks.com>.
3. Приложение 4 к протоколу Совета директоров ОАО «ФСК ЕЭС» от 02.06.2006 №34, Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» – М.: 2006.
4. Шкарин Ю.П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи – М.: НТО Энергопресс, Энергетик, 2001. – 70с. (Серия «Библиотечка электротехника»).
5. Связь решает все. Связь в энергетике №7 – 2002. Интернет сайт: <http://www.et1500.ru>.
6. Dietrich К. Системы ВЧ связи по ЛЭП. Коммуникационные решения для электрических сетей / Пер. с англ. Е.А. Малютин – Электротехнический рынок №11 (17), 2007.
7. Мендельсон М.А. Егоров В.А. Цифровизация систем ВЧ-связи по высоковольтным линиям электропередач. Интернет сайт: <http://www.zelax.ru>
8. Чирков А.Г. Комплексное использование каналов ВЧ связи с применением аппаратуры «Авант» – Чебоксары: 2007 – 8с.