

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РРЛ: программный комплекс ONEPLAN RPLS

**С.Одоевский**, д.т.н., директор по научно-методическому обеспечению ООО "ИнфоТел",  
**В.Степанец**, к.т.н., генеральный директор ООО "ИнфоТел" / step@rpls.ru

УДК 621.396.43

В статье рассматривается сетевая версия программного комплекса ONEPLAN RPLS (ONEGA), предназначенная для расчета радиорелейных линий.

Радиорелейные линии (РРЛ), использующие неустойчивую беспроводную среду передачи, призваны обеспечивать устойчивую связь в транспортных сетях и сетях доступа с качеством, соизмеримым с качеством ВОЛС. Современное радиорелейное оборудование способно бороться с указанной неустойчивостью лишь в определенных пределах, что необходимо учитывать при проектировании РРЛ с использованием специализированных программных средств. Одним из таких средств является программный комплекс (ПК) ONEPLAN RPLS (ONEGA).

Данный ПК предназначен для планирования (проектирования) и оптимизации сетей как подвижной, так и фиксированной радиосвязи, включая транспортные сети и сети доступа на базе радиорелейного оборудования. Разработкой и внедрением комплекса уже более 15 лет занимается компания "ИнфоТел".

Состав и основные характеристики ПК ONEPLAN RPLS уже рассматривались в журнале "Первая миля" [№ 1-3]. Из состава ПК для расчета РРЛ может применяться как локальная версия RPLS-XML, так и сетевая – RPLS-DB Link. Обе версии опираются на одинаковый математический аппарат расчета радиорелейных интервалов (РРИ), но последняя (сетевая) версия имеет больше функциональных возможностей по подготовке исходных данных и обработке результатов расчета сразу для множества РРИ, образующих как отдельные линии, так и сети РРЛ. Именно о версии RPLS-DB Link и используемом математическом аппарате пойдет речь далее.

Основной целью расчета РРЛ является получение ответа на один, вроде бы, простой вопрос: будут ли выполнены требования к качеству связи? При этом к проблемам получения точного ответа на данный вопрос относится как сложность математического предсказания последствий воздействия неустойчивой внешней среды на качество связи, так и сложность проверки точности предсказания, поскольку заданные требования должны выполняться не в какие-то отдельные моменты времени (измерений), а в течение многих лет эксплуатации РРЛ.

Из вышесказанного следуют более высокие требования к математическому аппарату расчета РРЛ, чем, например, к аппарату расчета зонных сетей подвижной связи, для проверки адекватности которого обычно достаточно выполнения выборочных драйв-тестов. Высокие требования к точности математического аппарата расчета РРЛ обуславливают необходимость длительных предварительных научных теоретических и практических исследований, а затем – обоснованных методических обобщений, которые могут себе позволить только крупные специализированные организации. К таким организациям в нашей стране относится, например, ФГУП НИИР, а на мировом уровне – сектор радиосвязи международного союза электросвязи (МСЭ-R). Разработанные ими методики расчетов РРЛ являются наиболее авторитетными и признанными (например, [4, 5]). Обобщением указанных методик применительно к физико-географическим условиям

Российской Федерации является ГОСТ Р 53363-2009 [6].

Однако даже авторитетные и признанные методики расчета РРЛ не всегда успевают за появлением нового радиорелейного оборудования и новых областей его применения [7]. В частности, указанные методики пока не позволяют в явном виде учитывать особенности новых пакетных режимов работы, адаптивной модуляции (АМ), специфические требования к качеству мультисервисного трафика, а также характеристики радиоканалов, образуемых новыми типами оборудования в новых освоенных диапазонах частот. Отчасти это объясняется естественным отставанием сбора статистики использования оборудования, достаточной для выработки обоснованных инженерных рекомендаций и методик для соответствующих прогнозных расчетов РРЛ. В такой переходный период востребованными оказываются частные (ведомственные) методики фирм-разработчиков нового оборудования, а также результаты отдельных теоретических и практических исследований, публикуемых в различных изданиях.

В таблице приведен список основных (базовых) методик, реализованных в ПК ONEPLAN RPLS-DB Link, и диапазоны частот, для которых они считаются применимыми (в скобках отмечены расширенные диапазоны, заявленные разработчиками новых версий данных методик). Представленная в таблице обобщенная частная методика является собственной разработкой компании "ИнфоТел", которая опирается на отдельные частные методы расчета аналоговых и цифровых РРЛ метрового, дециметрового и нижней части сантиметрового диапазонов волн (например, [8-10] и др.).

Для удовлетворения спроса на расчет РРЛ на базе различного оборудования в различных условиях его применения в ПК ONEPLAN RPLS-DB Link предлагается широкий выбор различных методик расчета как с типовыми, так и с нетиповыми исходными данными (ИД). Это позволяет выполнять как оперативные типовые расчеты (по заданной методике с заранее подготовленными исходными данными) путем "нажатия одной кнопки", так и экспериментальные (исследовательские) расчеты с многократными ручными и автоматическими итерациями с варьированием различных ИД и использованием различных методик.

На рис.1 проиллюстрирована взаимосвязь исходных данных и результатов расчета при

### Применимость методик расчета РРЛ в различных диапазонах частот

Методика	Диапазон частот
МСЭ-R P.530	0.5...45 ГГц (...83 ГГц)
НИИР (1998 г.)	2...20 ГГц (...100 ГГц)
ГОСТ Р 53363-2009	3.4...40.5 ГГц
Обобщенная частная методика	0.1...4 ГГц (...8 ГГц)
МСЭ-R P.676 (ослабление в газах)	до 350 ГГц
МСЭ-R P.838 (ослабление в осадках)	1...1000 ГГц
МСЭ-R P.837 (статистика осадков)	без ограничений

решении задач анализа и синтеза в ходе проектирования РРЛ на базе ПК ONEPLAN RPLS-DB Link.

Как показано на рис.1, данные для расчета РРЛ делятся на четыре группы:

1. технические характеристики (ТХ) радиорелейных станций {PPC-1, PPC-2}; на каждом  $i$ -м интервале, среди которых различаются постоянные (const), недоступные для изменений и варьируемые (var), т.е. такие, которые можно изменять (настраивать, оптимизировать);
2. параметры условий распространения радиоволн (РРВ), среди которых различаются параметры "земли" в виде профиля рельефа местности между PPC на каждом РРИ, включая наземные объекты, и параметры "воздуха" в виде некоторых характеристик приземного слоя атмосферы, определяющих ее влияние на РРВ;
3. требования к результатам расчета в виде состава рассчитываемых показателей и критериев пригодности отдельных РРИ и линии в целом;
4. параметры модели, включающие признак выбранной методики расчета, параметры точности и очередности расчетов, а также формы отображения и представления результатов расчета.

От выбранной методики расчета (в четвертой группе исходных данных) в некоторой степени зависит состав учитываемых ИД в первых трех группах. В общем случае это не принципиально, поскольку отбор нужных исходных данных



**Рис.1.** Взаимосвязь исходных данных и результатов расчета РРЛ

(при их наличии) осуществляется автоматически. Но если требуется ручная коррекция только актуальных ИД, то для ее удобства выбор методики расчета выполняется в первую очередь, после чего состав запрашиваемых остальных данных автоматически корректируется.

В состав ПК ONEPLAN RPLS-DB Link входит большое количество справочников, включающих, в частности, заранее подготовленные исходные данные о TX (как постоянных, так и варьируемых – по умолчанию) множества типовых РРС различных зарубежных и отечественных производителей, о типовых условиях РРВ в различных регионах (климатических зонах), нормах и требованиях к РРЛ. К заранее подготавливаемым данным об условиях РРВ также относятся цифровые карты местности, поставляемые вместе с программным комплексом или загружаемые пользователем самостоятельно.

Наличие большого количества заранее подготовленных исходных данных позволяет в большинстве практически востребованных случаев выполнять расчет РРЛ "нажатием одной кнопки", предварительно указав только места размещения РРС заданного типа.

Основным результатом расчета РРЛ является вывод о ее пригодности или непригодности на основании результатов сравнения рассчитанных показателей качества связи с их требуемыми значениями. В роли таких показателей

для цифровых РРЛ, входящих в состав первичных сетей, предоставляющих различным вторичным сетям (телефонии, передачи данных, видео и др.) типовые каналы и тракты с фиксированной скоростью передачи, обычно выступают вероятностные показатели устойчивости (надежности) или, наоборот, неустойчивости (ненадежности) нормального состояния цифрового канала, характеризуемого некоторой допустимой вероятностью ошибки на бит (Bit Error Rate – BER). Последняя непосредственно связана с чувствительностью приемника (зависящей также от используемого в оборудовании модема и скорости передачи).

В связи с тем что на интервалах РРЛ нестабильные условия РРВ могут приводить к замираниям уровня сигнала в течение различного времени (по-разному влияющим на качество работы внешней цифровой аппаратуры связи), то принято различать быстрые и медленные замирания с длительностью нарушения требований к BER соответственно менее и более 10 с. При этом в роли основного показателя неустойчивости из-за быстрых замираний (показателя неустойчивости по ошибкам – ПКО [4]) обычно выступает коэффициент секунд со значительным количеством ошибок SESR (Severely Errored Second Ratio), а в роли основного показателя неустойчивости из-за медленных замираний выступает показатель неготовности (ПНГ) в виде коэффициента неготовности  $K_{нг}$  (Unavailability Seconds – UAS).

Именно на расчет приведенных выше показателей неустойчивости ориентированы наиболее популярные методики [4–6], хотя и с разными акцентами на тех или иных составляющих данных показателей. В частности, в различных методиках при расчете указанных показателей по-разному учитываются три основные причины замираний, вызванные случайными изменениями параметров:

1. интерференции прямого и отраженных лучей;
2. рефракции радиоволн над земной поверхностью;
3. интенсивности осадков.

К причинам снижения  $K_{\text{нГ}}$  в некоторых методиках относят также перерывы связи из-за отказов оборудования [6].



При расчете низкоскоростных (узкополосных) ведомственных РРЛ, предоставляющих нетиповые цифровые или даже аналоговые каналы и работающих обычно в метровом или дециметровом диапазонах волн, в качестве основного оцениваемого показателя используется надежность связи (или обратная величина – потери надежности связи) без разделения замираний на быстрые и медленные [9, 10].

Требуемые значения SESR и  $K_{\text{нГ}}$  нормируются для РРЛ разной протяженности (в том числе для отдельных РРИ) и различного назначения в различных руководящих документах. Основным таким документом на территории РФ является приказ МС РФ от 10.08.1996 № 92 [11], интерпретированный применительно к РРЛ в методике НИИР [4]. Однако еще на заре компьютерных расчетов РРЛ было принято оценивать пригодность РРИ также по отдельным относительно быстро вычисляемым промежуточным результатам расчета, в частности по медианному уровню сигнала, запасу уровня (относительно чувствительности), величине минимального просвета (при заданном коэффициенте рефракции), отдельным составляющим ослабления сигнала из-за рассеяния в свободном пространстве, влияния рельефа, осадков, субрефракции и др.

Все перечисленные и многие другие промежуточные и итоговые результаты расчета ПК ONEPLAN RPLS-DB Link позволяют контролировать, включать в отчет и делать по ним выводы о пригодности РРИ по разным как гостированным, так и эмпирическим критериям, а также выявлять причины непригодности интервалов. Поиск этих причин может быть автоматизирован с помощью построения графических зависимостей любых промежуточных или

итоговых результатов от любых исходных данных. Для отдельных варьируемых (управляемых) параметров, таких как высоты основных и дополнительных антенн, а также частотный разнос, предусмотрены специальные процедуры оптимизации – автоматического поиска наилучших значений.

Как отмечалось выше, одним из недостатков традиционных методик расчета РРЛ является лежащее в их основе предположение о фиксированной скорости передачи и соответственно фиксированной чувствительности приемников РРС, по отношению к которой оцениваются замирания уровня сигнала и отмеченные выше итоговые показатели неустойчивости (SESR и  $K_{\text{нГ}}$ ). Однако многие современные РРС поддерживают пакетные режимы работы [7], не чувствительные к кратковременным (быстрым) замираниям, а режимы адаптивной модуляции позволяют радиорелейным интервалам работать даже во время достаточно глубоких медленных замираний за счет динамического изменения (снижения) скорости передачи и повышения чувствительности. При этом обслуживаемый пакетный трафик, как правило, является мультисервисным

**Санкт-Петербург**

**Разработка и производство аппаратуры связи**

**Российские радиорелейные станции**

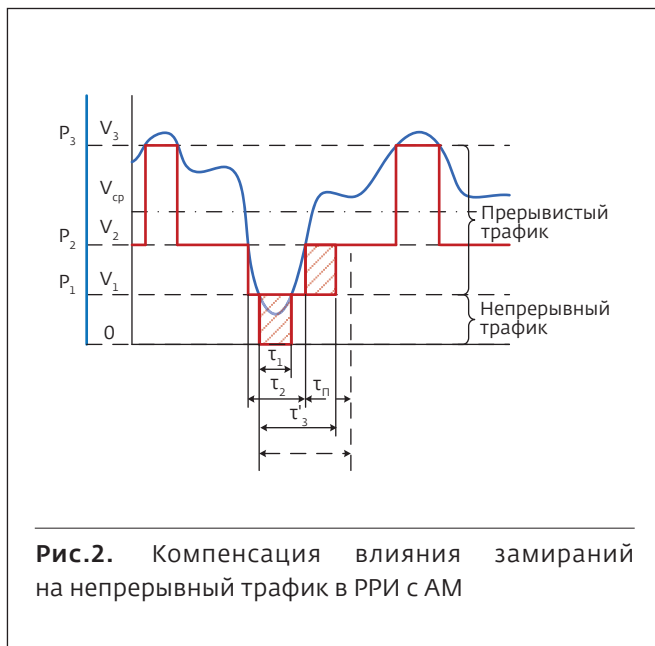
Скорость передачи **до 400Мбит/с**  
 Диапазон частот от **4ГГц до 38ГГц**  
 Система резервирования «N+0» или «N+1»

Программное управление пропускной способностью и набором интерфейсов в каждом «радиостволе»:  
 - до 2-х входов STM-1  
 - до 6-ти входов Gigabit Ethernet  
 - до 16 входов E1 G.703

Варианты исполнения СВЧ-оборудования:  
 - «outdoor» с рабочим диапазоном температур от -50 до +50 градусов  
 - «indoor» для размещения в помещениях для условий Арктики и районов крайнего Севера России

**192029, Санкт-Петербург, Б.Смоленский пр., 2**  
**Тел.: (812) 412-99-83, 412-89-05, Факс: (812) 412-77-36**  
**e-mail: root@radian.spb.ru**  
 Все оборудование имеет сертификаты Минсвязи России

**[www.radian.spb.ru](http://www.radian.spb.ru)**



и неоднородным, что не позволяет однозначно оценивать качество его обслуживания общими показателями неустойчивости для всего цифрового потока.

Пока не появились официальные методики учета отмеченных выше особенностей работы пакетных РРС, при расчете РПИ в ПК ONEPLAN RPLS-DB Link используются частные методы расчета РПИ с адаптивной модуляцией, позволяющие применять традиционные методики для получения вспомогательных промежуточных вероятностно-временных характеристик (ВВХ) передачи данных для отдельных градаций адаптивно изменяемых скоростей передачи. При этом в качестве дополнительных (новых) показателей качества обслуживания потоков данных ПК ONEPLAN RPLS-DB Link позволяет рассчитывать максимальную доступную пиковую (постоянную) скорость непрерывной передачи с заданной надежностью (устойчивостью) и максимальную среднюю скорость прерывистой передачи (с переменной текущей скоростью).

При передаче пакетного прерывистого трафика, допускающего переменную задержку и пульсации скорости, в РПИ с АМ удастся обеспечить среднюю скорость передачи  $V_{ср}$ , намного (в несколько раз) превышающую фиксированную скорость  $V_{непр}$  непрерывного трафика в аналогичной РПИ с одинаковым медианным уровнем сигнала и одинаковой статистикой замираний. При этом выигрыш по скорости передачи прерывистого трафика фактически соответствует требуемому запасу уровня сигнала при обеспечении необходимого

значения SESR для непрерывного трафика. То есть чем меньше требуемое значение SESR, тем больше необходимый запас уровня сигнала для непрерывного трафика и тем больше выигрыш по скорости передачи прерывистого трафика (с условно требуемым значением  $SESR=50\%$ ).

В РПИ с адаптивной модуляцией обычно допускается передача смешанного прерывистого и непрерывного трафика. При этом скорость передачи непрерывного трафика может соответствовать одной из нижних градаций скорости, например  $V_{непр}=V_1$ . Тогда среднюю скорость прерывистого трафика  $V_{ср}$  можно рассчитать как разность между общей средней скоростью  $V_{ср}$  и скоростью  $V_{непр}$ , выделенной для непрерывного трафика.

Особенностью передачи непрерывного трафика в РПИ с АМ совместно с прерывистым трафиком является возможность компенсации кратковременных нарушений связи из-за замираний (в тракте передачи непрерывного трафика) за счет буферизации потерянной части информации и передачи ее после повышения уровня сигнала с увеличенной скоростью.

На рис.2 показан пример компенсации замираний, возникших на интервале  $\tau_1$ , при передаче непрерывного трафика на скорости  $V_1$  за счет запоминания в буфере потерянной информации (заштрихованная область внизу слева) и передачи ее повторно (заштрихованная область вверху справа) совместно с очередной порцией информации на той же скорости  $V_1$  после того, как уровень сигнала повысился до уровня  $P_2$  (на котором длительность замирания  $\tau_2$  всегда больше, чем длительность замирания  $\tau_1$  на уровне  $P_1$ ), позволяющего передать суммарную информацию с увеличенной (в данном примере – вдвое) скоростью  $V_2$  до некоторого момента окончания интервала задержки  $\tau_3'$ .

Разумеется, подобная компенсация замираний возможна только в том случае, если в РПИ допускается искусственная задержка передачи информации на время  $\tau_3' \leq \tau_3$ , превышающее длительность замираний  $\tau_1$ .

Для учета реальных конечных значений допустимой задержки  $\tau_3$  в ПК ONEPLAN RPLS-DB Link для расчета SESR в РПИ с АМ используется известная статистическая зависимость длительности быстрых интерференционных замираний, приведенная в методиках [4] и [6]. При этом итоговое значение  $SESR_{АМ}$  определяется как произведение рассчитанной величины  $SESR_{V_1}$  при скорости непрерывной передачи  $V_1$  на некоторый коэффициент  $a < 1$ , рассчитанный с учетом статистики замираний уровня сигнала и допустимой задержки  $\tau_3$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При решении задач планирования и оптимизации РРЛ ПК ONEPLAN RPLS-DB Link позволяет:

- выбирать методику расчетов в соответствии с предпочтениями проектанта (МСЭ-R, НИИР, ГОСТ Р 53363-2009 и др.);
- оптимизировать высоты подвеса антенн радиорелейных станций, величины пространственного и частотного разносов;
- рассчитывать и строить графические зависимости показателей качества радиорелейных интервалов от выбранных пользователем управляемых параметров РРС или варьируемых параметров РРВ;
- рассчитывать показатели качества РРИ с адаптивной модуляцией;
- выполнять расчеты интервалов с пассивными ретрансляторами;
- автоматизировать поиск подходящих мест размещения промежуточных РРС (ретрансляторов);
- автоматизировать подбор радиорелейного оборудования, позволяющего обеспечить заданные требования к качеству связи;
- выполнять частотно-территориальное планирование и рассчитывать ЭМС группировки (сети) радиорелейных средств.

Таким образом, ПК ONEPLAN RPLS-DB Link является удобным и эффективным программным средством поддержки принятия решений при проектировании РРЛ с использованием современного оборудования с учетом требований к услугам мультисервисных транспортных сетей и сетей доступа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Одоевский С., Степанец В.** Программные средства планирования и оптимизации сетей подвижной и фиксированной связи // Первая миля. 2010. № 2. С. 28-31.
2. **Одоевский С., Степанец В.** Планирование сетей LTE: программный комплекс ONEPLAN RPLS (ONEGA) // Первая миля. 2012. № 2. С. 64-69.
3. **Одоевский С., Степанец В.** Планировать беспроводную связь с комфортом: программный комплекс ONEPLAN RPLS (ONEGA) // Первая миля. 2013. № 2. С. 34-39.
4. Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2-20 ГГц. М.: Инженерный центр, 1998.
5. Рекомендация МСЭ-R P.530. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости.
6. ГОСТ Р 53363-2009 Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета. М.: Стандартинформ, 2009.
7. **Евдокименко Е.** Современные требования к радиорелейному оборудованию // Первая миля. 2016. № 6. С. 38-42.
8. **Ларин Е.А.** Расчет дифракционного ослабления радиоволн на приземных трассах над пересеченной и горной местностью // Электро-связь. 1997. № 1. С. 17-20.
9. **Волков Е.А., Куликов В.В., Бурьянов О.Н.** Методики расчетов военных радиорелейных и тропосферных линий связи с аналоговыми и цифровыми сигналами при планировании их развертывания. СПб.: ВАС, 1993. 194 с.
10. **Одоевский С.М.** Описание и инструкция по использованию комплекса программ расчета РРЛ (ТРЛ) на СМ ЭВМ и ПЭВМ: учебное пособие. СПб.: ВАС, 1993. 164 с.
11. Нормы на электрические параметры основных цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей ВСС России. Приказ МС РФ от 10.08.1996 № 92.

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

# ONEPLAN RPLS



ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ  
ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕЙ  
ПОДВИЖНОЙ И ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ

[www.rpls.ru](http://www.rpls.ru)

**INFOTEL**  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И КОММУНИКАЦИИ