

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ФИДЕРОВ

Дорезюк Н.И.- кандидат технических наук, генеральный директор ООО “Кабельные радиосистемы”

ФИДЕР, как термин, используемый в области радиотехники и связи, означает **радиочастотный кабель** (или волновод), армированный **соединителями**, предназначенный для передачи сигнала от передатчика к антенне. Термин пришел в международный обиход от английского слова «feed» - питание, подача и по сути **ФИДЕР** – это «питающий» антенну кабель.

Основное назначение ФИДЕРА – передать сигнал от передатчика к антенне без искажений.

Правильно выбранный и установленный фидер может эксплуатироваться в течение **10-15 лет** даже в самых жестких климатических условиях, но главное – решить задачу на всех этапах квалифицированно. Обычно для фидера выбирается крупногабаритный радиочастотный кабель **полужесткой** конструкции (со сварными внешними, а иногда и внутренними проводниками). Таким кабелем трудно подсоединиться к аппаратуре, поэтому используют небольшой длины (1-2 м) **гибкие** кабельные вставки – **джамперы**. Они незначительно увеличивают потери и КСВн общего тракта, но при передаче большого уровня мощности следует выбирать такой радиочастотный кабель для **джамперов**, который не снижал бы допустимую мощность тракта. При малых размерах **джамперных** кабелей это достигается применением фторопласта для изоляции, почти в 3 раза увеличивающего допустимую мощность кабеля.

Надеемся, что данные рекомендации, основанные на многолетней практике изготовления и поставок фидеров и джамперов, будут полезны Потребителям.

При выборе **ФИДЕРА** и **джамперов** для систем радиосвязи, радиовещания, телевидения необходимо руководствоваться и учитывать следующие основные (жирным шрифтом) и дополнительные факторы:

- **волновое сопротивление** тракта;
- **коэффициент затухания** кабеля на рабочей частоте передатчика;
- **допустимая средняя мощность** в кабеле на частоте передатчика;
- **присоединительный канал** соединителей на выходе передатчика и входе антенны;
- **КСВн** тракта: передатчик – фидер – антенна в рабочей полосе частот;
- длина фидера и его масса;
- возможность возникновения интермодуляционных помех в местах контактов и заделок кабеля в соединители;
- **условия эксплуатации**: минимальные и максимальные температуры, солнечное излучение, влажность, дождь, гроза, молнии, иней, снег, обледенение, ветровые нагрузки и пр.;
- **условия монтажа**: допустимые растягивающие усилия, минимальные радиусы изгиба, температура воздуха при монтаже, устройства и способ крепления фидера на мачте, к трубе и т.п.;
- **стоимость** кабеля, соединителей и монтажа

В нашем сайте отражены кратко основные конструктивные, электрические и эксплуатационные характеристики фидерных кабелей и соединителей зарубежного и отечественного производства, более детально можно ознакомиться с ними, читая соответствующую техническую литературу (каталоги Производителей, статьи, журналы, отчеты), но в данном разделе считаем полезным осветить основополагающие моменты и предостеречь от нередко встречающихся ошибок при выборе фидера.

Начнем уточнять проблему в соответствии с перечисленными выше факторами.

Волновое сопротивление фидера (обычно 50 Ом, иногда 75 Ом), выходное сопротивление передатчика и входное сопротивление антенны должны быть одинаковы. Это обеспечивает режим передачи сигнала с наименьшими искажениями.

Иногда Потребитель имеет в своем распоряжении передатчик и антенну с разными сопротивлениями (например 50 и 75 Ом). Если возникла такая «патовая» ситуация, то правильной выбрать в качестве фидера кабель с волновым сопротивлением, равным выходному сопротивлению передатчика, а со стороны антенны поставить трансформатор сопротивлений. Это связано с тем, что на вход фидера подается вся мощность передатчика и рассогласование на входе вызовет не только потери мощности сигнала, но и может привести к возникновению стоячей волны с большим напряжением в местах пучности. При большой мощности передатчика это может привести к пробоем кабеля и выходу его из строя. На дальнем конце (у входа в антенну) в связи с затуханием сигнала в фидере эта проблема упрощается.

Потеря мощности сигнала в фидере определяется **коэффициентом затухания** кабеля на частоте передатчика, α_n , дБ/м, умноженным на его длину, L , м: $\alpha_n \times L$, дБ.

Коэффициент затухания нормируется обычно на стандартных частотах при температуре окружающей среды 20°C и указывается в технических условиях или спецификациях на кабели конкретных марок. Фидерные кабели – это кабели с малыми потерями. Малый коэффициент затухания обеспечивается прежде всего высокими электрическими свойствами материалов (медь и полиэтилен) и конструктивным исполнением кабеля – трубчатые проводники и вспененная или кордельная изоляция. В таких кабелях изоляция состоит на 85-90 % из воздуха.

Типичная конструкция фидерного кабеля (с пористой изоляцией) приведена на рис. 1.



Рис.1

Расчет коэффициента затухания фидерного кабеля проводится по формуле:

$$\alpha = \frac{4,58}{\sqrt{\epsilon_0} f \ln \frac{D}{d}} \left(\frac{1}{d\sqrt{\sigma_1}} + \frac{1}{D\sqrt{\sigma_2}} \right) + 9,1 \sqrt{\epsilon_0} f \operatorname{tg} \delta$$

где α - затухание, дБ/100 м,

- ϵ_0 - относительная диэлектрическая проницаемость изоляции кабеля,
- d - диаметр внутреннего проводника кабеля, мм
- D - диаметр внешнего проводника кабеля, мм
- σ_1 - проводимость внутреннего проводника, Мсим/м
- σ_2 - проводимость внешнего проводника, Мсим/м
- $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла потерь изоляции
- f - частота, МГц

Если у Потребителя частота передатчика, f_n , отличается от стандартной, f_c , можно приблизительно рассчитать коэффициент затухания на нужной частоте, α_n , по формуле:

$$\alpha_n = \alpha_c \sqrt{f_n / f_c}$$

при этом необходимо использовать значение α_c на стандартной частоте, ближайшей к частоте передатчика.

Отношение мощностей при затухании сигнала, дБ, приведено в нижеследующей таблице 1

Таблица 1

дБ	Отношение мощностей	дБ	Отношение мощностей	дБ	Отношение мощностей	дБ	Отношение мощностей
0,1	1,023	1,6	1,445	2,6	1,820	4,5	2,82
0,5	1,122	1,8	1,514	2,8	1,906	5,0	3,16
1,0	1,259	2,0	1,585	3,0	1,995	6,0	3,98
1,2	1,318	2,2	1,660	3,5	2,24	7,0	5,01
1,4	1,380	2,4	1,738	4,0	2,51	8,0	6,31

Обычно кабель для фидера выбирают исходя из суммарных потерь мощности сигнала не более 2 дБ. Рекомендованные марки кабелей для различных стандартов мобильной связи при различных длинах фидеров приведены в таблице 2.

Таблица 2

Частота/Длина фидера	150 МГц	450 МГц	900 МГц	1800 МГц	2100 МГц
< 25 м	RF ½"-50 (PK 50-7-58)	RF ½"-50 (PK 50-7-58)	RF ½"-50 (PK 50-7-58)	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)
25.....50 м	RF ½"-50 (PK 50-7-58)	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)	RF 1 ¼"-50	RF 1 5/8"-50
50.....75 м	RF ½"-50 (PK 50-7-58)	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)	RF 1 ¼"-50	RF 1 5/8"-50	RF 2 ¼"-50
75....100 м	RF 7/8"-50 (PK 50-17-51)	RF 1 ¼"-50	RF 1 5/8"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50
100...150 м	RF 1 5/8"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50
> 150 м	RF 1 5/8"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50	RF 2 ¼"-50

При выборе фидера не следует забывать, что **допустимая мощность** фидерного тракта практически всегда **ограничивается не кабелем, а соединителями**.

Существует ряд стандартных **присоединительных размеров** (каналов) **соединителей**, причем отечественные соединители отличаются не только резьбой, но иногда и конструктивными размерами. Стандартные присоединительные размеры отечественных соединителей регламентируются ГОСТ 20265-83 «Соединители радиочастотные коаксиальные», соединители различных зарубежных производителей отличаются конструктивно, но присоединительная часть идентична и соответствует международным стандартам ISO и IEC.

Наиболее часто передатчики, дуплексеры, делители, антенны и другое радиосвязное оборудование имеют выходы каналов N (отечественный канал 7/3 с метрической резьбой) или 7/16. При передаче больших уровней мощности (десятки Квт) используется канал EIA 7/8" или еще больше. При стандартном присоединительном канале, например типа N, могут быть использованы для фидеров различные кабели, но при этом сам канал определяет максимально допустимую мощность.

Ниже приводится полезная информация о длительно допустимой средней мощности наиболее «ходовых» соединителей канала N и 7/16 при КСВн = 1,2 и температуре окружающей среды 40 °С (таблица 2). Для иллюстрации сказанного в этой же таблице приведена длительно допустимая средняя мощность кабеля 7/8"-50 при той же температуре.

Таблица 3

Частота, МГц	Длительно допустимая средняя мощность , Вт		
	Соединитель N-типа	Соединитель 7/16	Кабель RF7/8"-50
30	3400	8000	23000
50	2600	6200	10000
100	1800	4400	7100
200	1300	3000	4900
300	1050	2500	4000
450	900	2000	3200
800	650	1600	2300
900	600	1450	2200
1000	570	1300	2040
1800	400	1050	1450
1900	350	1000	1410
2400	310	880	1230
3000	280	780	1070

Если выбранный кабель и соединитель находятся на пределе допустимой мощности, следует помнить, что приведенная в спецификациях мощность рассчитана при температуре окружающей среды 40°C и КСВн =1. На практике это условие **никогда** не соблюдается, поэтому необходимо выбирать для фидера кабель с «запасом» по допустимой мощности. Например, при эксплуатации на открытом воздухе в солнечную погоду температура фидера повышается значительно (> 70 °С) и допустимая мощность падает в соответствии со следующей формулой:

$$P_T = P_{40} \left(\frac{T_1 - T_a}{T_1 - 40} \right)^{1,14}$$

где: P_{40} - допустимая мощность при температуре 40°C,

T_1 - максимально допустимая температура на внутреннем проводнике кабеля (в зависимости от типа изоляции 70, 85, 100, 200 °С),

T_a - температура окружающей среды, °С.

При КСВн тракта не равном 1, допустимая мощность с нормируемой при КСВн=1 мощности $P_{ко}$ уменьшается до мощности P_k , равной :

$$P_k = P_{ко} / КСВн$$

Если запас по допустимой мощности небольшой (15-20%), необходимо устанавливать фидер так, чтобы по крайней мере вокруг него было свободное пространство диаметром не менее 50 мм, это уменьшит вероятность выхода из строя кабеля из-за перегрева.

КСВн фидерного тракта определяется следующими составляющими:

- согласование с передатчиком (коэффициент отражения в месте присоединения фидера к передатчику);
- согласование кабеля и соединителя на входном конце фидера;
- КСВн самого кабеля (отражения от внутренних неоднородностей кабеля);
- согласование кабеля и соединителя на выходном конце фидера;
- согласование с антенной (коэффициент отражения в месте присоединения фидера к антенне).

В международной практике принято качество согласования тракта оценивать либо в величинах **КСВн** (коэффициент стоячей волны по напряжению), либо величиной обратных потерь, **RL**, дБ (отношение мощности отраженного (обратного) потока сигнала к мощности передаваемого сигнала).

Соотношение между этими параметрами приведено в таблице 4

Таблица 4

КСВн	RL, дБ	КСВн	RL, дБ	КСВн	RL, дБ	КСВн	RL, дБ
1,00	60	1,05	32	1,13	24	1,25	19
1,01	50	1,07	30	1,15	23	1,29	18
1,02	40	1,08	28	1,17	22	1,33	17
1,03	36	1,11	26	1,20	21	1,38	16
1,04	34	1,12	25	1,22	20	1,43	15

Неплохим КСВн фидерного тракта считается, если его величина в рабочей полосе частот не превышает 1,15-1,20. При большой длине кабеля и на высоких частотах это обеспечить непросто, поэтому следует обратить внимание на **квалифицированный подход** к выбору кабеля и заделке его в соединители.

Максимальное значение КСВн тракта соответствует сумме модулей коэффициентов отражений, возникших в каждом из перечисленных выше мест сочленений, однако из-за фазовых соотношений между коэффициентами отражений простое суммирование всех отражений маловероятно.

Согласование фидера с передатчиком и антенной определяется разностью между волновым сопротивлением кабеля, выходным сопротивлением передатчика и входным сопротивлением антенны соответственно. При допуске на волновое сопротивление кабеля 50 ± 1 Ом (на отечественных кабелях ± 2 Ом), коэффициент отражения в местах подсоединения фидера к передатчику не превысит 0,04 и КСВн фидерного тракта при условии идеального кабеля и идеальной заделки его в соединители не превысит 1,08.

На практике наибольший вклад в КСВн фидерного тракта вносит собственно кабель. Он имеет длину, на которой “укладывается” много длин волн и на некоторых частотах происходит синфазное сложение отражений от небольших, но повторяющихся с периодичностью кратной половине длины волны ($n \lambda/2$) неоднородностей. В этом случае КСВн имеет вид резонансной кривой.

В отечественных кабелях величина КСВн в точках максимумов может превышать 1,4, вне резонансов КСВн обычно не более 1,15.

В кабелях производства NK Cables типичная величина КСВн не превышает 1,07, при резонансах - не более 1,2.

Типичный КСВн зарубежных соединителей не превышает 1,1 (канал N) – 1,15 (канал 7/16), аналогичных отечественных – 1,15-1,2. На частотах до 1 ГГц эти величины значительно ниже.

Следует строго соблюдать инструкцию по установке соединителей на кабель и не пытаться «**приспособить**» соединитель от кабеля одной марки на кабель другой, хотя и близкой, конструкции.

При изготовлении и монтаже фидеров и джамперов необходимо проверять КСВн в диапазоне рабочих частот!

В силу изложенных выше причин значения КСВн могут существенно отличаться даже на ближайших диапазонах.

На рис.2 приведен типовой протокол приемо-сдаточных испытаний кабелей RF 7/8”-50 производства NK Cables (Финляндия) и в нем содержится типичная частотная характеристика КСВн .

Остановимся на условиях **монтажа и эксплуатации** фидеров. Обычно антенны устанавливаются на мачтах, трубах, при этом **при монтаже не допускать** продольных растяжений, деформаций, изгибов на недопустимо малые радиусы, перекрутов, рывков. Закреплять фидер необходимо таким образом, чтобы не было вибраций кабеля при ветровых нагрузках, чтобы крепежные элементы не пережимали кабель, внося дополнительные внутренние неоднородности, чтобы они удерживали кабель при обледенении и налипании снега.

Для установки фидера используются специальные крепежные элементы, расстояние между которыми должно быть не более 0,7-1,2 м.

Монтаж должен производиться при температуре, не ниже допустимой, т.к. при нарушении этого условия защитная оболочка может растрескаться и кабель не будет пригодным для дальнейшей эксплуатации.

Обычно в спецификациях на кабели указаны допустимые радиусы изгиба, температура эксплуатации и температура, при которой можно изгибать кабель, максимально допустимые растягивающие усилия, рекомендуемое расстояние между местами крепления.

Особо необходимо обратить внимание при монтаже на **защиту** фидера от возможного попадания **влаги внутрь** кабеля. Особенно остро эта проблема стоит при использовании кабелей с кордельной изоляцией марок РК 50-17-51, РК 75-17-51 и др. аналогичных. Прежде всего необходимо герметизировать (влагозащищать) кабель при установке соединителей.

Существуют различные способы герметизации, зависящие от конструкции самого соединителя: - либо внутрь него через специальное отверстие вводится герметик Plast 2000, либо используются специальные герметизирующие резиновые прокладки (O-ring), либо все кромки и стыки заливаются специальным клеем (например, КР-1) и место заделки кабеля в соединитель герметизируется с помощью термоусаживающейся трубки (например, марки ТУТ). Трубка выбирается такого размера, чтобы она после нагревания плотно осадилась на защитную оболочку кабеля и концевик соединителя.

Но этого всего **недостаточно**, если при соединении фидера с джампером и аппаратурой не принять меры против попадания влаги в местах сочленений. **Обязательно** необходимо все сочленения герметизировать путем обмотки их лентой-мастикой (например, марки Scotch fill) и бандажной лентой из ПВХ (Scotch Super 33).

Для защиты кабеля от возможного **пробоя** при попадании атмосферного электричества (удара молнии) и защиты персонала устанавливаются на концах и в середине фидера специальные заземляющие устройства. Заземление осуществляется путем электрического соединения внешнего проводника кабеля с заземляющей шиной или заземленной опорой. Существуют различные конструкции заземляющих устройств, важно выбрать такие, которые обеспечивают достаточную контактную поверхность и обеспечивают плотное прилегание к внешнему проводнику.

Необходимо строго соблюдать инструкцию по установке заземляющих устройств и обязательно герметизировать место установки либо с помощью термоусаживающейся трубки с клеевым подслоем либо с помощью ленты-мастики и ленты ПВХ.

Особо следует упомянуть о выборе так называемых **пожаробезопасных кабелей**. Речь, конечно, не идет о том, что кабели вообще не горят, а о том, что они не поддерживают горение и не выделяют дыма и ядовитых газов. Методика проверки на горючесть стандартизована документами Международной электротехнической комиссией (МЭК) документами IEC 754-1/2, IEC 1034, IEC 332-3 С.

Испытания проводятся в специальной камере при вертикально закрепленных на металлической лестнице кабелях. При этих испытаниях регламентируется способ прокладки кабелей (одиночный или в жгутах), мощность горелки (“сила” пламени) , длительность воздействия

пламени. Результаты оцениваются по длине оплавленной части кабеля и задымленности камеры .

Отечественные фидерные кабели не сертифицируются по пожаробезопасности и не имеют вариантов “негорючего” исполнения. Зарубежные фидерные кабели имеют варианты различного исполнения.

В частности, фидерные кабели фирмы **NK Cables** выпускаются с защитной оболочкой из серого или черного безгалогенного, пламестойкого термопластика («**Мегалона**») .

Итак, подведем итоги по приведенным выше доводам по тщательному выбору фидера:

- **для фидера целесообразно выбирать кабель с малыми потерями;**
- **для джампера следует выбирать кабель, не снижающий допустимую мощность тракта;**
- **при выборе соединителя для фидерного и джамперного кабелей следует учитывать допустимую мощность как кабелей, так и соединителей в реальных условиях эксплуатации;**
- **обязательно проверять КСВн фидера и джамперов в рабочей полосе частот;**
- **строго соблюдать инструкцию по заделке кабелей в соединители и установке заземлителей;**
- **крепить фидер с помощью специальных элементов, устанавливая их с расстоянием не более 0,7-1,2 м;**
- **обязательно герметизировать не только соединители, но и места сочленений фидера с джамперами и аппаратурой.**