

## Экспресс-метод определения количественных критериев гибкости кабельных изделий

Ковалева Ольга Михайловна родилась 11 августа 1952 года. Выпускница кафедры ЭТМиК Московского энергетического института. После окончания института в 1978 году работала в отделе радиочастотных кабелей Особого Конструкторского Бюро Кабельной Промышленности.

1978–79 — инженер. 1979–1983 — инженер-технолог 3 кат. 1983–1988 — инженер технолог 2 кат 1988–1993 -ведущий инженер-конструктор.

1993–2000 г. — начальник лаборатории. В лаборатории под ее руководством впервые в кабельной промышленности была осуществлена поставка комплекта кабельных сборок (кабелей с соединителями как единого изделия) для бортовых АФУ системы глобальной связи комплекса «Ямал-100».

2000 по 2003 год — главный конструктор направления ГУП «Геофизика-Кабель». 2003 по 2008 год — главный конструктор направления ООО НПП «Спецкабель».

В настоящее время занимается индивидуальной трудовой деятельностью в области разработки отечественных кабельных изделий.

Ольга Михайловна Ковалева



Способность кабельного изделия к изгибу является его важнейшим эксплуатационным свойством, которое характеризуется такими параметрами как минимальный радиус изгиба, допустимое число перегибов, стойкость кабеля к перемоткам и осевым кручениям при изгибе.

Из всех перечисленных параметров количественно определены все критерии, кроме собственно гибкости, от которой и зависят все остальные нормированные характеристики кабельных изделий. В основном, кроме редких случаев нормирования момента изгиба кабеля, понятие гибкости кабеля определено качественно.

В [1] дано определение гибких радиочастотных кабелей по конструктивному исполнению проводников. К гибким, отнесены кабели с многопроволочными внешними проводниками.

В стандарте МЭК 60966-1 [2] введены такие понятия как гибкая, полугибкая и полужесткая кабельные сборки (cable assemblies), которые отражают эксплуатационные возможности изделия в виде радиочастотного кабеля армированного соединителями как единого целого. К гибким отнесены кабельные сборки, в которых кабель может подвергаться многократным изгибам.

Различные материалы, используемые для изоляции и оболочки кабельных изделий, имеют различное сопротивление изгибу, поэтому кабель в оболочке из поливинилхлоридного пластиката, будет более гибким, чем кабель в оболочке из полиэтилена или фторопласта, а такой же кабель в оболочке из кремнийорганической резины будет более гибким, чем кабель в оболочке из поливинилхлоридного пластиката. На гибкость кабеля будет влиять и конструктивное исполнение его элементов и габариты, тем не менее, все эти конструкции объединяет одно свойство: кабели обладают способностью к мгновенному изгибу на собственный радиус (диаметр) под весом собственной тяжести.

Исходя из вышеизложенного, введем параметр, который определим как коэффициент гибкости кабеля, который представим в виде отношения диаметра кабеля по оболочке к диаметру собственного изгиба кабеля метровой длины:

$$F = D_k / 2R_c, \quad (1)$$

где  $R_c$  — собственный диаметр изгиба кабеля, мм;  
 $D_k$  — диаметр кабеля по оболочке, мм.

При измерениях отрезков кабеля метровой длины может быть закреплен консольно, тогда непосредственно после установки измеряется радиус изгиба как расстояние от вертикальной оси крепления до точки выхода кабеля на прямой участок (Рис.1), либо отрезок двухметровой длины перебрасывается через стержень, тогда проводится измерение собственного диаметра изгиба.

Зная собственный радиус изгиба кабеля и массу одного метра кабеля можно определить с достаточной степенью точности момент силы, необходимый для изгиба кабеля на собственный радиус по формуле:

$$M = 9,8 \times \pi \times R_c \times m \times 10^{-3} / 2, \text{ Нхм} \quad (2)$$

Где,  $m$  — масса одного метра кабеля в кг;  
 $R_c$  — собственный радиус изгиба кабеля в м.

В таблице 1 приведены характеристики радиочастотных кабелей, измеренные и рассчитанные по приведенной выше методике.

Измерения проводились на радиочастотных кабелях различного конструктивного исполнения, все рассмотренные образцы выбраны случайным образом:

- образец кабеля с многопроволочным внутренним проводником, спиральной изоляцией из фторопластового корделя с многопроволочными внешним проводником и экраном, с оболочкой из кремнийогранической резины (№1);
- образец кабеля с однопроволочным внутренним проводником, с полувоздушной полиэтиленовой изоляцией с внешним проводником в виде фольги и оплетки проволоками с оболочкой из поливинилхлоридной изоляцией (№2);
- образец кабеля с многопроволочным внутренним проводником, с полувоздушной полиэтиленовой изоляцией с внешним проводником в виде фольги и оплетки проволоками с оболочкой из поливинилхлоридной изоляцией (№3).



Оценим применимость предлагаемого метода оценки гибкости для разных стадий жизненного цикла и различных групп кабельных изделий.

Как видно из таблицы 1 при проведении сравнительных испытаний, на стадии выбора конструкции, метод позволяет провести количественную оценку свойств различных кабелей.

Такая оценка применима для конструкций кабелей различных областей применения и позволяет осуществлять, в том числе и прогноз поведения кабеля в интересующих потребителя условиях.

Для радиочастотных кабелей задача актуальна по той причине, что практически все конструкции создавались для объектового применения по техническим требованиям заказчика. Нормирование характеристик проводилось в объеме только тех

Таблица 1

Марка кабеля	Собственный радиус изгиба, м	Диаметр кабеля по оболочке, мм	Коэффициент гибкости	Масса, кг	Момент изгиба, Нхм
PK-50-4-413 №1	0,050	8,6	0,344	0,163	0,13
RG-59/U №2	0,072	7,2	0,050	0,036	0,04
RG-6 №3	0,105	4,95	0,024	0,049	0,08

требований, которые оговаривались заказчиком, что в принципе приводит к необоснованному ограничению области применения кабелей.

При разработке кабельных изделий заказчик помимо требований к электрическим параметрам в ряде случаев ставит такие требования как стойкость кабеля к перегибам — число перегибов должно быть максимальным, соответственно радиус изгиба минимальным. Выполнив требования по электрическим характеристикам и, используя все конструктивные возможности для обеспечения гибкости кабеля, стороны не могут прийти к соглашению в выборе радиуса изгиба. Разработчик хочет знать, что нужно заказчику, так как не хочет нести лишние затраты на испытания. Заказчик хочет получить гарантированные параметры в надежде на то, что разработчику виднее в каких условиях кабель будет вести себя наилучшим образом. Как выше отмечалось, собственный радиус изгиба — это тот радиус, при котором внутренние перемещения элементов кабеля минимальны, а все деформации лежат в области упругости. Очевидно, что собственный радиус (диаметр) изгиба кабеля и будет тем минимальным радиусом (диаметром) изгиба, при котором кабель будет иметь максимальное число перегибов. Понятно, что в условиях большего радиуса стойкость к перегибам будет выше, а в условиях меньшего радиуса значительно ниже. Здесь необходимо отметить, что изгиб на радиус ниже собственного, будет происходить уже в зоне пластических деформаций кабеля. Возможна ситуация, когда снижение принудительного радиуса вдвое от собственного, может привести к пятикратному снижению стойкости кабеля к перегибам. Пластические деформации в кабеле это отдельный вопрос. Настоящая статья посвящена условиям, когда кабель испытывает упругие деформации и по своим свойствам может быть отнесен к группе гибких кабелей.

Исходя из этих соображений, при освоении новых режимов эксплуатации кабеля применение предложенной методики позволит оптимизировать план испытаний, так как испытания на стойкость к перегибам весьма трудоемки и дорогостоящи.

Для конструкций, в состав которых входят параллельно уложенные элементы, знание собственного диаметра изгиба позволяет определить требования к приемной и отдающей технологической таре, так как собственный диаметр изгиба характеризует то состояние, при котором внутренние элементы кабеля испытывают минимальные напряжения и внутренние перемещения. Если соизмерять пара-

метры технологической или поставочной тары с собственным диаметром изгиба кабеля, то можно в последующем избежать появления таких дефектов, как «колышки», когда металлическая жила выходит на поверхность кабеля. Коварность этого дефекта заключается в том, что его образование происходит по истечении времени и выявляется, как правило, не на стадии приемо-сдаточных испытаний, а на стадии эксплуатации.

При изготовлении кабельных сборок, знание собственного диаметра изгиба позволяет при заделке кабеля обеспечить надежность и стабильность параметров сборки в процессе эксплуатации.

Например, кабель марки РК50-4-413 выдерживает 10 000 перегибов на радиус 50 мм и 60 000 перегибов на радиус 100 мм. Проведенные ранее испытания показывают, что собственный радиус изгиба кабеля составляет 50 мм. Если не использовать упрочняющих элементов в месте заделки кабеля в соединитель и эксплуатировать кабель в свободном режиме, при котором кабель будет изгибаться на радиус, близкий к собственному радиусу изгиба, ресурс кабеля не превысит 10 000 перегибов. Обеспечив с помощью упрочняющих элементов такой профиль заделки, который обеспечит радиус изгиба 100 мм ресурс перегибов кабеля можно увеличить до 60000. Более того, зная расчетное значение момента изгиба, можно производить расчет длины упрочняющих элементов и конусности.

Следует отметить, что ошибочным приемом при заделке гибких кабельных изделий является применение жестких упрочняющих элементов. В этом случае критический участок перемещается от места выхода кабеля из хвостовой части соединителя в место выхода кабеля из упрочняющего элемента.

Таким образом, предложенный метод оценки, несмотря на его очевидность и простоту, позволяет решить широкий круг вопросов применения кабелей как с точки зрения определения условий и режимов эксплуатации, так и с точки зрения классификации по гибкости.

*О. М. Ковалева — разработчик  
кабельных изделий*

### Литература

1. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 102.
2. ИЕС 60966-1:1999. Кабели радиочастотные и коаксиальные в сборе. Часть 1. Общие технические условия. Общие требования и методы испытаний.