

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОПУСТИМОЙ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ ПРИ ПРОКЛАДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БРОНИРОВАННЫХ МОНТАЖНЫХ КАБЕЛЕЙ

А.В. Лобанов, Р.Г. Кузнецов, Н.Е. Молчанов, А.А. Мельников (НПП «Спецкабель»)

Обсуждаются экспериментальные оценки зависимости основных электрических параметров монтажных кабелей от прикладываемой к ним в продольном направлении растягивающей нагрузки, а также их прочности при разрыве. Приводится математический аппарат, в соответствии с которым проводилась обработка результатов измерения электрических параметров. Приводятся рекомендации по эксплуатации бронированных монтажных кабелей.

Ключевые слова: экспериментальные оценки, электрические параметры, монтажные кабели, растягивающая нагрузка, прочность при разрыве.

Для прокладки в грунтах категорий I–III, а также для мест (территорий) с наличием грызунов, как правило, применяют кабели с дополнительной защитой от механических нагрузок и повреждений [1–3].

В качестве такого рода защиты монтажных кабелей, в том числе кабелей для передачи данных может выступать броня (защитный элемент), выполненная в одном из следующих видов:

- оплетка стальными оцинкованными проволоками номинальным диаметром $\geq 0,3$ мм с коэффициентом поверхностной плотности $\geq 70\%$;
- повив из стальных оцинкованных круглых проволок диаметром $\geq 0,9$ мм, наложенный поверх оболочки кабеля.

Повышенные механические нагрузки, испытываемые кабелем, которые могут возникать как во время прокладки (тяжения), так и при его эксплуатации, необходимо описывать в технических условиях в качестве руководства для потребителя с тем, чтобы

оградить кабель от преждевременного повреждения до начала функционирования, а также гарантировать его надежную работу в различных грунтах.

Для этого была поставлена задача экспериментальной оценки зависимости основных электрических параметров монтажных кабелей от прикладываемой к ним в продольном направлении растягивающей нагрузки, а также их прочности при разрыве.

Примененная методика оценки носит ориентировочно-моделирующий характер и не показывает на прямую поведение кабелей при непосредственном расположении в грунте, поскольку испытания проводились на воздухе и при комнатной температуре. Тем не менее, полученные экспериментальные данные будут полезны специалистам, разрабатывающим данные виды кабелей и проектировщикам систем автоматизации, их применяющим.

Проведенные в предшествующие годы специалистами НПП «Спецкабель» испытания на растяжение

Таблица. Конструкция испытанных образцов

Элемент	№ образца			
	1	2	3	4
	Тип кабеля			
	«КунРС В» ТУ 16.К99-043-2011	«Скаб 250» ТУ 16.К99-061-2013	«КИПвЭ» ТУ 16.К99-025-2005	«Скаб 660» ТУ 16.К99-061-2013
Токопроводящая жила (ТПЖ)	Медные многопроволочные 6 мм ²	Медные луженые многопроволочные 1,5 мм ²	Медные луженые многопроволочные 0,37 мм ²	Медные луженые многопроволочные 1,0 мм ²
Изоляция	Кремнийорганическая резина	Безгалогенная композиция	Вспененный полиэтилен	ПВХ-пластикат
Скрутка	В пучок пять жил	В пучок четыре жилы	В пары с полипропиленовыми нитями; четыре пары – в пучок	В пары; две пары – параллельно друг другу
Общий экран	Нет	Ламинированная алюминиевая фольга и оплетка из луженых медных проволок плотностью		
		60 %	90 %	60 %
Заполнение под оболочкой	Полимерное, экструдированное		Нет	Полимерное, экструдированное
Оболочка	ПВХ-пластикат	Безгалогенная композиция	Светостабилизированный ПЭ	ПВХ-пластикат
Броня	Повив стальными оцинкованными проволоками $\text{AE}1,2$ мм			Оплетка из стальных оцинкованных проволок $\text{AE}0,3$ мм; плотность 70 %
Защитный шланг	ПВХ-пластикат	Безгалогенная композиция	Светостабилизированный ПЭ	ПВХ-пластикат
Наружный диаметр кабеля, мм	26,5	17,5	17,5	20,5

кабелей с оплеточной броней позволили определить разрывную прочность данных кабелей. В среднем значения предельных усилий в зависимости от числа и суммарного сечения токопроводящих жил (ТПЖ) составили 1,5...3,5 кН.

В последующем были проведены новые испытания по определению характеристик кабелей с броней в виде повива из стальных оцинкованных проволок диаметром 1,2 мм в процессе приложения к ним растягивающего усилия до момента разрыва кабелей.

Для исследований было отобрано четыре типа монтажных кабелей. Конструкция кабелей указана в таблице; при этом образец № 4 был выбран в качестве контрольного для подтверждения ранее проведенных испытаний и получения дополнительной информации по поведению электрических параметров при воздействии растягивающей нагрузки на кабель.

Общая длина каждого из испытываемых образцов кабелей составляла 100 м, из которых длина участка кабеля, подвергавшегося растяжению, — 42 м; длина на заправочных колесах и выводные концы — 13 и 45 м, соответственно (суммарно 58 м).

Отметим, что для большей корректности и точности измерений длина выводных концов могла быть сведена до нескольких метров, но это намеренно не было сделано в предположении, что в реальных условиях длина кабеля, подвергаемая растяжению (усилиям сдвига) в грунте может быть далека от 100% строительной длины кабеля. То есть она составит около половины общей длины проброса от выхода до входа приемо-передающей аппаратуры в системе.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12182.5 «Кабели, провода и шнуры. Метод проверки стойкости к растяжению» в лаборатории АО «Москабель-Фуджикура» на испытательной установке FA-10 производства компании Swiss Cab с предельным разрывным усилием 100 кН. При этом для контроля изменяющихся при растяжении электрических параметров испытываемых образцов кабелей использовался измеритель иммитанса E7–20.

Процедура испытаний заключалась в следующем. После заправки кабеля на испытательном стенде и вывода двух остаточных концов производилось измерение параметров кабеля в исходном состоянии. Далее к образцу прикладывалось продольное усилие, кабель растягивался, после чего процесс растяжения кабеля намеренно прерывался при определенных значениях прикладываемого усилия, и производился замер заданных электрических параметров кабеля в этом положении. Процесс растяжения и замера требуемых значений производился до тех пор, пока не происходил полный разрыв кабеля.

Для образца № 1 в качестве контролируемого параметра было выбрано электрическое сопротивление ТПЖ; для образцов № 2–4 дополнительно измерялись электрическая емкость, волновое сопротивление и затухание выбранных рабочих пар на растягиваемом участке. В качестве конечного результата

принимались их относительные изменения в сравнении с исходными значениями, абсолютным и на единицу длины кабеля (погонным).

Обработка результатов измерения электрических параметров производилась по следующим формулам.

Относительное изменение погонного сопротивления токопроводящей жилы на растягиваемом участке испытываемого кабеля, %:

$$\Delta r_F = \frac{r_{\text{измрастяг}} - r_{\text{исхрастяг}}}{r_{\text{исхрастяг}}} 100, \quad (1)$$

$$r_{\text{исхрастяг}} = R_{\text{исх}} / L_{\text{каб}}, \quad (2)$$

$$r_{\text{измрастяг}} = \frac{R_{\text{измF}} - r_{\text{исхрастяг}} L_{\text{вывкол}}}{L_{\text{растяг}} + \Delta L_{\text{растяг}}},$$

где $r_{\text{исхрастяг}}$ — погонное сопротивление ТПЖ на растягиваемом участке в исходном состоянии, Ом/км (соответствует погонному сопротивлению выводных и заправочных концов и кабеля в целом); $R_{\text{исх}}$ — сопротивление ТПЖ испытываемой длины кабеля в исходном состоянии, мОм; $L_{\text{каб}}$ — общая длина испытываемого кабеля, равная 100 м; $r_{\text{измрастяг}}$ — погонное сопротивление ТПЖ на растягиваемом участке в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , Ом/км; $R_{\text{измF}}$ — сопротивление ТПЖ в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , Ом; $L_{\text{вывкол}}$ — суммарная длина испытываемого кабеля на заправочных колесах и его выводных концов, равная 58 м; $L_{\text{растяг}}$ — длина растягиваемого участка испытываемого кабеля, равная 42 м; $\Delta L_{\text{растяг}}$ — удлинение растягиваемого участка испытываемого кабеля (двукратный ход машины), м; полное отведение заправочного колеса составляет 0,8 м.

Относительное изменение погонной электрической емкости рабочей пары на растягиваемом участке испытываемого кабеля, %:

$$\Delta C_F = \frac{C_{\text{измрастяг}} - C_{\text{исхрастяг}}}{C_{\text{исхрастяг}}} 100,$$

$$C_{\text{исхрастяг}} = C_{\text{исх}} / L_{\text{каб}},$$

$$C_{\text{измрастяг}} = \frac{C_{\text{измF}} - C_{\text{исхрастяг}} L_{\text{вывкол}}}{L_{\text{растяг}} + \Delta L_{\text{растяг}}},$$

где $C_{\text{исхрастяг}}$ — погонная емкость рабочей пары на растягиваемом участке, в исходном состоянии, нФ/км (соответствует погонной емкости выводных и заправочных концов и кабеля в целом); $C_{\text{исх}}$ — емкость рабочей пары на испытываемой длине кабеля в исходном состоянии, пФ; $C_{\text{измрастяг}}$ — погонная емкость рабочей пары на растягиваемом участке в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , нФ/км; $C_{\text{измF}}$ — электрическая емкость рабочей пары в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , нФ.

Относительное изменение волнового сопротивления рабочей пары на растягиваемом участке испытываемого кабеля, %:

$$\Delta Z_F = \frac{Z_{\text{измрастяг}} - Z_{\text{исхрастяг}}}{Z_{\text{исхрастяг}}} 100,$$

где $Z_{\text{исхрастяг}}$ — волновое сопротивление рабочей пары на испытываемой длине кабеля в целом в исходном состоянии, нФ/км; $Z_{\text{измрастяг}}$ — волновое сопротивление рабочей пары на испытываемой длине кабеля в целом в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , нФ/км.

Относительное изменение коэффициента затухания рабочей пары на растягиваемом участке испытываемого кабеля, %:

$$\Delta \alpha_F = \frac{\alpha_{\text{измрастяг}} - \alpha_{\text{исхрастяг}}}{\alpha_{\text{исхрастяг}}} 100,$$

$$\alpha_{\text{исхрастяг}} = \frac{A_{\text{исх}}}{L_{\text{каб}}},$$

$$\alpha_{\text{измрастяг}} = \frac{A_{\text{изм}F} - A_{\text{исхрастяг}} L_{\text{вывкол}}}{L_{\text{растяг}} + \Delta L_{\text{растяг}}},$$

где $\alpha_{\text{исхрастяг}}$ — коэффициент затухания рабочей пары на растягиваемом участке, в исходном состоянии, дБ/км (соответствует коэффициенту затухания выводных и заправочных концов и кабеля в целом); $A_{\text{исх}}$ — затухание в рабочей паре на испытываемой длине кабеля в исходном состоянии, дБ×10; $\alpha_{\text{измрастяг}}$ — коэффициент затухания рабочей пары на растягиваемом участке в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , дБ/км; $A_{\text{изм}F}$ — затухание в рабочей паре в момент растяжения при фиксированном значении растягивающего усилия F , дБ.

Кроме того, прочность кабеля при растяжении предлагается определять, как среднеквадратичное значение из прочности при растяжении всех проволок в повиве (оплетке) брони (защитного элемента), ТПЖ и экрана (оплетки) кабеля, а именно, Н:

$$F_k = \sqrt{F_{\text{бр}}^2 + F_{\text{тлж}}^2 + F_{\text{экр}}^2},$$

$$F_{\text{бр}} = S_{\text{прбр}} \sigma_{\text{сталь}} n_{\text{прбр}},$$

$$F_{\text{тлж}} = S_{\text{тлж}} \sigma_{\text{медь}} n_{\text{тлж}},$$

$$F_{\text{экр}} = S_{\text{прэкр}} \sigma_{\text{медь}} n_{\text{прэкр}},$$

где $F_{\text{бр}}$ — суммарное усилие при разрыве проволок брони, Н; $F_{\text{тлж}}$, $F_{\text{экр}}$ — суммарное усилие при разрыве ТПЖ и экрана (оплетки), Н; $S_{\text{прбр}}$ — номинальное сечение проволоки брони (в повивной броне с проволоками $\varnothing 1,2$ мм, равное 1,13 мм²; в оплеточной броне с проволоками $\varnothing 0,3$ мм, равное 0,07 мм²); $S_{\text{тлж}}$ — номинальное сечение ТПЖ, мм²; $S_{\text{прэкр}}$ — номинальное сечение проволоки экрана (в оплеточном экране с проволоками $\varnothing 0,15$ мм, равное 0,0177 мм²);

$S_{\text{сталь}}$ — временное сопротивление разрыву стальной проволоки, равное 570 Н/мм² для используемой проволоки в повивной и оплеточной броне; $S_{\text{медь}}$ — временное сопротивление разрыву медной проволоки, равное 270 Н/мм² для используемой проволоки в ТПЖ и экране; $n_{\text{прбр}}$, $n_{\text{прэкр}}$ — число проволок в броне и в экране (оплетке); $n_{\text{тлж}}$ — число ТПЖ.

Учет участия в прочности кабеля проволок ТПЖ и экрана производился, исходя из предположения поэтапного распределения нагрузки по металлическим элементам сердечника по мере перехода их в выпрямленное состояние и различия в коэффициентах укрутки. Вклад от полимерных материалов по причинам большого относительного удлинения и малой разрывной прочности в расчет не принимался.

В качестве пределов в поведении параметров кабеля при растяжении было принято: допустимое относительное удлинение кабеля — $\Delta L_F \leq 2\%$; $\Delta r_F \leq 2\%$; $\Delta C_F \leq 10\%$; $\Delta Z_F \leq 6\%$; $\Delta \alpha_F \leq 8\%$.

Результаты испытаний подробно представлены в [4].

По результатам проведенных исследовательских испытаний были сделаны следующие выводы.

1. При растягивающей нагрузке на кабель, составляющей 70...80% от предельной разрывной нагрузки, относительное удлинение конструкции кабеля составляет 2%. При этой же нагрузке происходит рост погонного электрического сопротивления ТПЖ кабеля также на 2%, что косвенно подтверждает верность ранее выбранного критерия.

2. В этом случае в качестве предельного усилия при прокладке и эксплуатации кабеля могут быть рекомендованы усилия, составляющие, 65 и 75% от предельного разрывного усилия кабеля соответственно.

3. Для кабеля в повивной броне с сечением жил от 0,75 мм² и толстостенной полимерной изоляцией воздействие растягивающего усилия по совокупности изменяющихся характеристик передачи в области низких и высоких частот позволяет установить порог прокладки и применения кабелей до 60 и 70% от предельной разрывной нагрузки (9,0...10,5 кН) соответственно.

4. Кабель передачи данных в повивной броне с сечением ТПЖ до 0,5 мм² и тонкостенной полиэтиленовой изоляцией по совокупности параметров передачи оказывается крайне чувствителен к растягивающим нагрузкам в высокочастотной области, особенно это относится к волновому сопротивлению.

Таким образом, если кабель будет эксплуатироваться в низкочастотной области, то рекомендованные нагрузки при прокладке и эксплуатации можно ограничить до 50 и 60% от разрывной нагрузки (7,5...9,0 кН) соответственно, в высокочастотной области — лишь до 15 и 20% (2,3...3,0 кН).

5. Кабели с оплеточной броней остаются в допустимых пределах параметров передачи до нагрузок, не превышающих порядка 35 и 45% от предельной разрывной нагрузки при прокладке и эксплуатации кабеля (1,8 и 2,3 кН).

6. Предложена и подтверждена формула определения предельного разрывного усилия кабеля как среднеквадратичной суммы прочности при растяжении всех проволок брони и ТПЖ кабеля.

При этом допустимые усилия при прокладке и эксплуатации могут выбираться, исходя из определенных выше процентных отношений к предельному разрывному усилию в зависимости от частотной области применения кабелей или их назначения.

7. Разрывная прочность кабелей со стальной броней из повива проволок диаметром 1,2 мм не менее, чем в 3 раза превышает прочность аналогичных кабелей с оплеткой проволоками диаметром 0,3 мм; при том, что высокочастотные параметры кабелей с повивной броней сохраняются в установленных пределах при нагрузках, соответствующих разрывным для кабелей с оплеточной броней.

8. Кабели с повивной броней проволоками диаметром 1,2 мм могут быть рекомендованы к применению для прокладки в грунты всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям, здесь уже потребуется второй повив стальных проволок.

Список литературы

1. Лобанов А.В., Кузнецов Р.Г. Кабели для современных сетей промышленной автоматизации // Кабель-news. 2008. № 4. С. 42-50.
2. Лобанов А.В. Специальные кабели для систем пожарной безопасности // Кабели и провода. 2016. № 4. С. 12–17.
3. Кабели для нефтегазовой отрасли // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – № 1. – С. 100-101.
4. Лобанов А.В., Кузнецов Р.Г., Молчанов Н.Е., Мельников А.А. Рекомендации по допустимой растягивающей нагрузке при прокладке и эксплуатации бронированных монтажных кабелей//Кабели и провода. 2019. № 4.

Лобанов Андрей Васильевич – канд. техн. наук, генеральный директор,
Кузнецов Роман Геннадьевич – зам. начальника отдела разработок,
Мельников Андрей Александрович – начальник лаборатории комплексных испытаний,
Молчанов Никита Евгеньевич – канд. техн. наук, зам. начальника лаборатории комплексных испытаний ООО НПП «Спецкабель».

Контактный телефон (495) 134-2-134.

E-mail: lobanov@spcable.ru krg@spcable.ru maa@spcable.ru mne@spcable.ru

В Кемеровском "Азоте" завершены два проекта в области управления активами

НПП "СпецТек" объявляет о завершении аудита системы управления физическими активами и создания электронной системы обходов оборудования первого этапа в Кемеровском АО "Азот".

Оба проекта предполагают возможность масштабирования на другие подразделения КАО "Азот". Область аудита системы управления активами была ограничена цехом №15, а электронной системой обходов оборудования первого этапа (ЭСО-1) охвачено 50% оборудования цеха аммиака-1 и цеха карбамида.

Критериями аудита стали требования ГОСТ Р 55.0.02-2014/ ИСО55001:2014 "Управление активами. Системы менеджмента. Требования". На начальном этапе эксперты НПП "СпецТек" провели вводный семинар с целью ознакомления участников аудита с указанным стандартом и согласования критериев аудита. Далее они провели сбор свидетельств аудита двумя методами: самооценка и экспертная оценка.

В ходе самооценки участники аудита со стороны заказчика заполнили анкеты и дали интервью, в которых оценили систему управления активами и деятельность предприятия в данной области. Экспертной оценке на соответствие критериям аудита были подвергнуты нормативно-методические документы и деятельность заказчика по управлению активами.

Используя полученные свидетельства аудита, эксперты НПП "СпецТек" проанализировали существующую систему управления активами (СУА), дали рекомендации по ее развитию. Данные результаты нашли отражение в аудит-отчете, который был рассмотрен на совещании рабочей группы, впоследствии поддержано предложение НПП "СпецТек" по развитию СУА. По результатам аудита разработаны план развития системы управления активами в масштабе всего КАО "Азот", а также техническое задание, устав и график проекта на внедрение информационной системы управления активами заказчика.

Параллельно с аудитом СУА проводилась работа по разработке и внедрению ЭСО-1. Перед участниками проекта была поставлена задача внедрить мобильные устройства в практику оперативного контроля состояния оборудования и контроля его технологических параметров.

С этой целью заказчику поставлена лицензия на использование мобильного приложения TRIM-Mobile, которое было развернуто на 40 устройствах. Совместными усилиями создана база данных ЭСО-1 по маршрутам обходов и картам осмотров: сотрудники КАО "Азот" собрали информацию в Excel-шаблоны, а специалисты НПП "СпецТек" загрузили ее в ЭСО-1. База данных ЭСО-1 была интегрирована с базой данных действующей информационной системы на КАО "Азот" и дополнена декомпозицией оборудования и НСИ по дефектам, загруженной из системы "Галактика ERP", а также изображениями карт маршрутов обходов для их наглядной визуализации на мобильных устройствах.

Для непрерывного взаимодействия и обмена данными между ЭСО-1 и системой "Галактика ERP" разработан и введен в эксплуатацию модуль интеграции. Заказчику поставлены NFC-метки для идентификации объектов осмотра. Они были установлены сотрудниками КАО "Азот" на подконтрольном оборудовании, а специалисты НПП "СпецТек" привязали их к соответствующим объектам в базе данных ЭСО-1. С 20 февраля 2020 г. ЭСО-1 введена в опытно-промышленную эксплуатацию.

В итоге оперативный линейный персонал получил инструмент в виде смартфона с установленным приложением TRIM-Mobile, с помощью которого он может, находясь в цеху, вводить непосредственно в информационную систему предприятия данные о результатах осмотров оборудования, о параметрах его состояния и их первичной классификации. Установка NFC-меток дает возможность на месте установки оборудования автоматически найти его в базе данных и внести результаты его осмотра.

Кроме автоматизации операций линейного персонала во время обходов, проект ЭСО-1 дал еще ряд результатов. Сократилось время между контролем оборудования на месте его установки и получением результатов контроля центра принятия решений по управлению надежностью и по проведению ТОиР. Повысился уровень контроля за выполнением обходов и, как следствие, степень фактического их выполнения. Повысилась достоверность собираемых при обходах данных, поскольку исключены промежуточные носители информации.

[Http://www.trim.ru](http://www.trim.ru) и www.itm.spb.ru