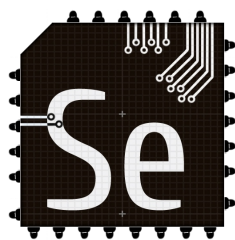


Научно-теоретический журнал

ISSN 2304-0823



# Системная инженерия

Серия "Технические науки"

№ 1-2 (5)  
2017

---

Издается с января 2015 года

Выходит 4 раз в год

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)



---

**Учредитель, издатель:** ООО «Институт интеллектуальных систем управления» при ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова»

**E-mail издательства:** [systemsengineer@mail.ru](mailto:systemsengineer@mail.ru)

**Сайт издательства:** [системнаяинженерия.рф](http://системнаяинженерия.рф) / [systemsengineer.ru](http://systemsengineer.ru)

**Почтовый адрес издательства и редакции:**

426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д.7, к.2, ауд. 424

**Главный редактор:** Лялин Вадим Евгеньевич

Изготовлено в типографии "Фаворит"  
426039 г. Ижевск, ул. Дзержинского, 77  
тел.: 44-55-81, 67-65-48

Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 9,1.

Подписано в печать: 06.06.2017 г. Тираж: 100 экз. Заказ № 0382.

© «Системная инженерия», 2017

---



**Редакционный совет:**

Михайленко Б.Г., академик РАН (Институт вычислительной математики  
и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск)  
Рагульскис М.К., академик АН Литвы (Каунасский технологический университет,  
г. Каунас, Литва)  
Каляев И.А., чл.-корр. РАН (НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ,  
г. Таганрог)  
Кондратьев В.В., чл.-корр. РАН (Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань)  
Новиков Д.А., чл.-корр. РАН (Институт проблем управления РАН, г. Москва)  
Дикусар В.В., д.ф.-м.н., профессор (ВЦ РАН, г. Москва)  
Максимов В.П., д.ф.-м.н., профессор (ПермГУ, г. Пермь)  
Шориков А.Ф., д.ф.-м.н., профессор (УрГЭУ, г. Екатеринбург)  
Якимович Б.А., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)

**Редакционная коллегия:**

Алексеев В.А., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Альес М.Ю., д.ф.-м.н., профессор (ИМ УрО РАН, г. Ижевск)  
Горохов М.М., д.ф.-м.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Коршунов А.И., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Кучуганов В.Н., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Малина О.В., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Муха Ю.П., д.т.н., профессор (ВолгГТУ, г. Воронеж)  
Нистюк А.И., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Оскорбин Н.М., д.т.н., профессор (Алтайский ГТУ, г. Барнаул)  
Семенчин Е.А., д.ф.-м.н., профессор (Ставропольский ГУ, г. Ставрополь)  
Сенилов М.А., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Тененев В.А., д.ф.-м.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Ухоботов В.И., д.ф.-м.н., профессор (Челябинский ГУ, г. Челябинск)  
Ушаков П.А., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)  
Хворенков В.В., д.т.н., профессор (ИжГТУ, г. Ижевск)

УДК 621.398 + 681.2

**С.П. Белов**

*инженер, ведущий инженер-программист,  
АО «Государственный научно-исследовательский  
институт приборостроения»,  
г. Москва*

**ТЕСТИРОВАНИЕ ЖГУТОВ:  
ПРОВЕРКА ОДНИМ КАНАЛОМ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗАТОРА  
СРАЗУ 24-Х ПРОВОДНИКОВ. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**Аннотация.** Анализ текущих продаваемых приборов тестирования жгутов показал их крайне высокую стоимость: 1–10 миллионов рублей. В связи с этим был разработан прибор для проверки 1024 проводников при цене в ~23500 рублей. Технология была выбрана с откатом назад, к использованию человеческого фактора. Задача данной статьи устранить этот недостаток через новую концепцию получения информации цифровыми анализаторами (платами аналогового ввода, микроконтроллерами и проч.) – сохранив в будущем дешевизну прибора в пределах пятизначной суммы.

**Ключевые слова:** плата, АЦП, жгут, кабель, тестирование, цена, цифровой анализатор, проводник.

**S.P. Belov, State research institute of instrument engineering, Moscow**

**TESTING CABLES: CHECK BY ONE CHANNEL OF THE DIGITAL ANALYZER  
IMMEDIATELY 24 CONDUCTORS. THEORETICAL PART**

**Abstract.** The analysis current sold instrument of the testing of cables has shown their extremely high cost: 1–10 million rubles. Was designed the devise for checking 1024 conductors at the price in ~23500 rubles. Technology was chose with recoil back, to use the human factor. The task this article to avoid this defect through new concept of the reception to information digital analyzer (the board of analog input, microcontroller, etc.) – having saved in future low cost instrument within 5-digits of the amount.

**Keywords:** board, ADC, cable, test, price, digital analyzer, conductor.

**Введение**

В 2016 году прошла 13-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования [1], показавшая неудовлетворительные с точки зрения морали результаты: приборы тестирования жгутов имели стоимость 1–10 миллионов рублей, при этом:

– за 1 миллион предлагался прибор с ограничением всего лишь в ~200 проводников в проверяемом жгуте;

– даже самые дорогие приборы не имеют всего списка возможностей анализа (обрыв проводника, замыкание проводников, высокое сопротивление проводника, сопротивление изоляции, прочность изоляции, экранирование, емкость проводника, электронные компоненты в составе проводника), а некоторые не имеют и базовых (обрыв, замыкание, высокое сопротивление);

– большинство приборов имеют большие габариты вида «шкаф», «рабочее место» (один стол или несколько).

В связи с этим автором статьи был разработан прибор на 1024 контакта (обрыв, замыкание, высокое сопротивление) [2]. Несмотря на простую принципиальную схему, физическую простоту сборки и дешевизну, прибор имеет существенный недостаток:

использование человека как анализатора качества контакта (человеческий фактор при оценке состояния жгута). Использование же любого цифрового анализатора сигналов, будь то плата аналогового ввода или микроконтроллер, приводило к резкому повышению цены: так как на один канал цифрового анализатора приходился один проводник жгута. В итоге, на примере платы аналогового ввода PCI-1713U [3], прибор на 1024 контакта содержал бы 32 таких платы по 40 тысяч рублей.

Данная статья представляет концепцию подачи информации на цифровой анализатор и ее практическую реализацию, когда количество цифровых анализаторов сигналов можно сократить в несколько раз (зависит от точности анализатора).

### Предложение концепции подачи информации на цифровой анализатор

В настоящее время анализ жгута проводится цифровым анализатором напрямую: снимается напряжение с шунта конкретного проводника. Это дает возможность программному обеспечению самообучаться, сканируя неизвестные жгуты и составляя их маршрутную карту – обрабатывая одновременно все проводники разными алгоритмами. В итоге создается БД жгутов; чтобы по ней, в свою очередь, выдавать вероятность соответствия неизвестного жгута уже известному. Данные возможности должны быть сохранены при любом другом алгоритме тестирования жгутов.

Предлагается изменить концепцию таким образом, чтобы на один канал цифрового анализатора приходила информация сразу с нескольких проводников – с целью экономии количества каналов анализатора (рис. 1). Такую возможность может дать общий шунт на несколько проводников, содержащий кодированную информацию об идентификации этих проводников. Похожая концепция используется при монтаже пожарных датчиков в адресном расширителе шлейфов [4] и пульте контроля и управления [5].

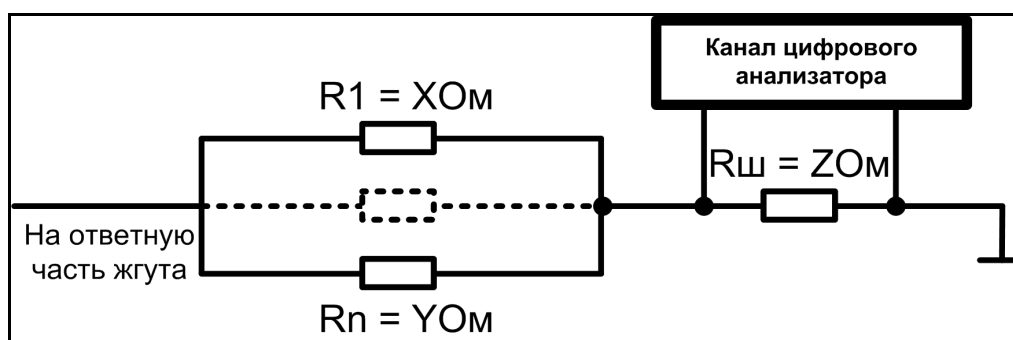


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы одного канала цифрового анализатора с несколькими проводниками жгута

Пусть есть некоторое количество проводников, состояние которых проверял бы общий шунт. Так как проводники в идеале не имеют сопротивления, они полностью идентичны – нет возможности ни различить их, ни прозвонить (КЗ), ни каким иным способом получить уточняющую информацию.

Если же модернизировать каждый проводник одинаковым сопротивлением, удастся получить информацию о силе тока через напряжение на общем шунте: сколько проводников задействовано в цепи, но не каких именно. Значит, сопротивления и представляют матрицу кодирования, необходимую для обеспечения различимости каждого проводника



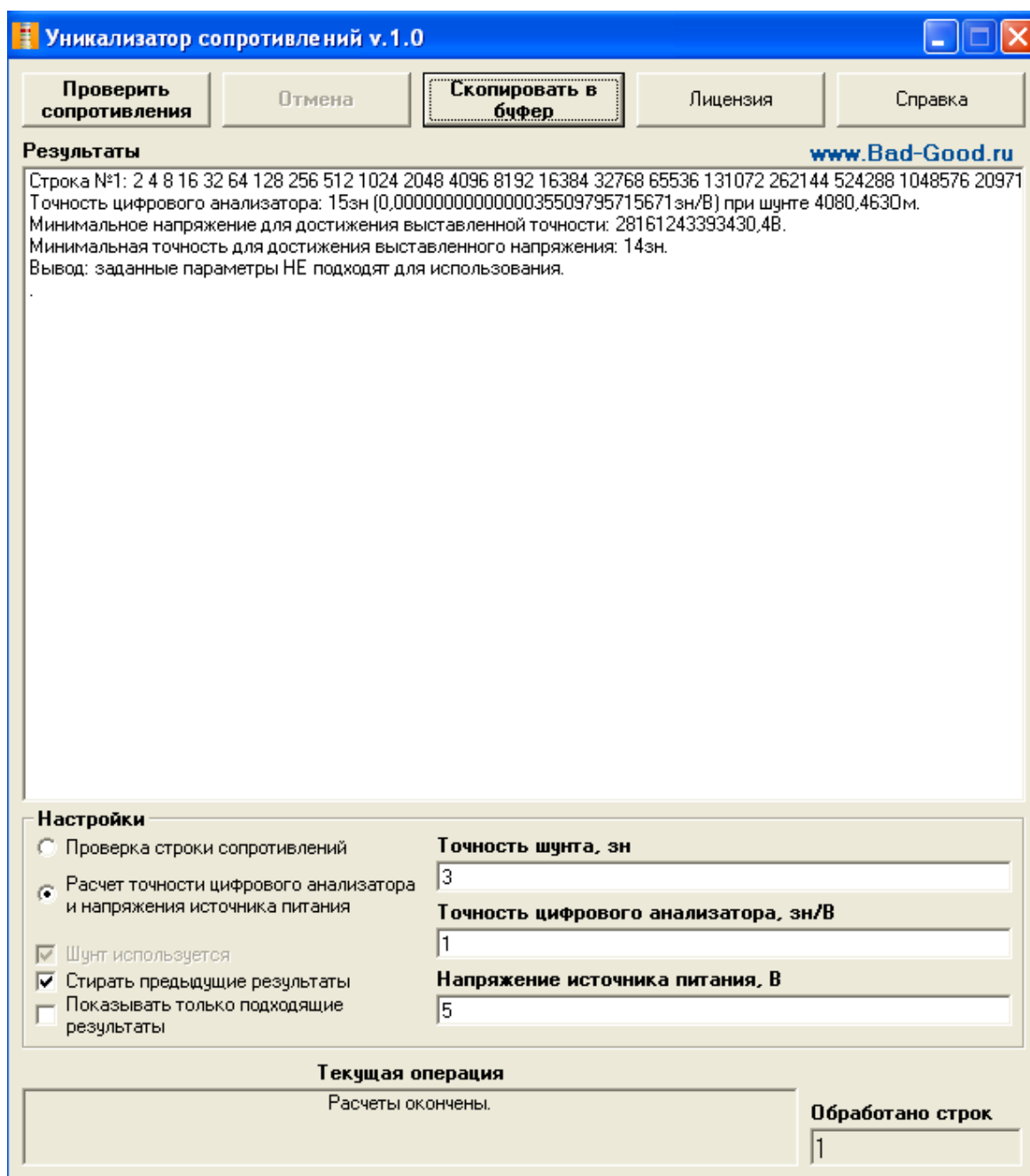


Рисунок 3 – Внешний вид программы расчета сопротивлений: расчет минимальной точности цифрового анализатора и оптимального шунта

### Теоретическая часть и расчеты

Размер матрицы кодирования с номиналами резисторов имеет размерность  $[1; N]$ , где  $N$  – максимальное количество проводников на один канал цифрового анализатора.

Номиналы сопротивлений в матрице должны определяться, исходя из формулы расчета параллельного соединения проводников:

$$R_{\text{проводников}} = 1 / (1/R_1 + \dots + 1/R_N). \quad (1)$$

Учитываются только проводники под напряжением.

Минимальная разница между группами проводников в процентах, как способ-

ность отличать проводники друг от друга, должна рассчитываться без шунта, для чистоты оценки самой матрица сопротивлений (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников как способности наиболее точно отличать проводники друг от друга

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт.	Мин. разница между паралл. соедин., %	Точность анализатора, зн/В	Номинал точности, В <sup>-1</sup>	Оптимальный шунт, Ом
2-16777216	24	$5.96 \cdot 10^{-6}$	15	$3.55 \cdot 10^{-15}$	4078.357
2-8388608	23	$1.192 \cdot 10^{-5}$	14	$1.42 \cdot 10^{-14}$	2894.411
2-4194304	22	$2.384 \cdot 10^{-5}$	14	$5.678 \cdot 10^{-14}$	2045.212
2-2097152	21	$4.768 \cdot 10^{-5}$	13	$2.27 \cdot 10^{-13}$	1447.289
2-1048576	20	$9.536 \cdot 10^{-5}$	13	$9.077 \cdot 10^{-13}$	1023.931
2-524288	19	$1.907 \cdot 10^{-4}$	12	$3.627 \cdot 10^{-12}$	724.03
2-262144	18	$3.814 \cdot 10^{-4}$	11	$1.449 \cdot 10^{-11}$	511.802
2-131072	17	$7.629 \cdot 10^{-4}$	11	$5.788 \cdot 10^{-11}$	362.039
2-65536	16	$1.525 \cdot 10^{-3}$	10	$2.31 \cdot 10^{-10}$	255.581
2-32768	15	$3.051 \cdot 10^{-3}$	10	$9.212 \cdot 10^{-10}$	181.024
2-16384	14	$6.103 \cdot 10^{-3}$	9	$3.668 \cdot 10^{-9}$	127.984
2-8192	13	$1.22 \cdot 10^{-2}$	8	$1.458 \cdot 10^{-8}$	90.521
2-4096	12	$2.442 \cdot 10^{-2}$	8	$5.782 \cdot 10^{-8}$	64.016
2-2048	11	$4.885 \cdot 10^{-2}$	7	$2.285 \cdot 10^{-7}$	45.278
2-1024	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32.032
2-512	9	0.195	6	$3.518 \cdot 10^{-6}$	22.672
2-256	8	0.392	5	$1.366 \cdot 10^{-5}$	16.063
2-128	7	0.787	5	$5.268 \cdot 10^{-5}$	11.404
2-64	6	1.587	4	$2.015 \cdot 10^{-4}$	8.129
2-32	5	3.225	4	$7.688 \cdot 10^{-4}$	5.843
2-16	4	6.666	3	$2.965 \cdot 10^{-3}$	4.277
2-8	3	14.285	2	$1.2 \cdot 10^{-2}$	3.266
2-4	2	33.333	2	$5.719 \cdot 10^{-2}$	2.829

Номинал сопротивления общего шунта должен рассчитываться в диапазоне (0; R<sub>проводника макс</sub>]. Для расчета потребуется его прибавление, как неизвестного, к формуле параллельного соединения проводников:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{проводников}} + R_{\text{шунта}} \quad (2)$$

Если представить жгут с N проводников как двоичную систему, где 0 есть разрыв, а 1 есть соединение проводника – для вычисления минимальной разницы между

группами проводников и анализа шунта потребуется массив с количеством значений  $2^N$  – только для хранения значений формулы 1. Массив данных с таким же размером требуется для хранения результатов формулы 2. Первый массив требует быстрой сортировки для определения минимальной разницы соседних элементов. Второй массив содержит неизвестную  $R_{шунта}$ ; значит, будет циклический перерасчет всех его значений при поиске оптимального шунта (рис. 2).

Таблица 2 – Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников различных двоичных номиналов

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт.	Мин. разница между паралл. соед., %	Точность анализатора, зн/В	Номинал точности, В <sup>1</sup>	Оптимальный шунт, Ом
2-1024	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32.032
2048-1048576	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32800.043
32-16384	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	512.501
32768-16777216	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	524800.684

Вручную сделать вышеприведенные расчеты невозможно, поэтому было написано ПО «Уникализатор сопротивлений» [6], которое содержит следующие алгоритмы оптимизации скорости:

- модернизированная сортировка по Шеллу: возможность сортировать несколько массивов одновременно;
- модернизированный метод итеративных последовательных приближений при расчете неизвестного номинала шунта: использование меньшего количества итераций.

В итоге расчет шунта для строки в 24 сопротивления (24 проводника) занимает не годы, а несколько часов.

Результаты, полученные с помощью ПО, позволяют считать, что номиналы резисторов, выбираемые по двоичной системе с наименьшим интервалом, имеют наибольшую точность по сравнению с произвольными, простыми, восьмеричными и иными числами. В итоге программа рассчитала размер матрицы кодирования, минимальную разницу между группами проводников в процентах, оптимальный шунт для выбранной матрицы сопротивлений, минимальное напряжение для достижения желаемой точности цифрового анализатора, минимальную точность для достижения желаемого напряжения.

Расчеты также показали, что можно создавать ряды сопротивлений для большого напряжения, с целью уменьшения силы тока в проводнике. При увеличении номиналов ряда сопротивлений пропорционально – точность в знаках и минимальная разница групп сопротивлений в процентах неизменны.

В итоге, например, плата аналогового ввода PCI-1713U с точностью 12 разрядов, способна обрабатывать до 18 проводников в одном канале, если поданное на них напряжение составит 1В.

В приборах по тестированию жгутов есть режимы проверки сопротивления изо-



ляции и теста на пробой. Разные ТУ определяют разные напряжения для этих режимов, однако их порядок кратен 100В. Например, ТУ АО ГосНИИП определяет напряжение проверки сопротивления изоляции 100В, пробоя — 500–1000В [7; 8]. Высокие напряжения данных режимов понижают необходимую точность для цифрового анализатора на 2–3 порядка. Повышение предельного напряжения цифрового анализатора возможно сделать при помощи резистора как делителя напряжения, сделав калибровку анализатора программными средствами производителя. В этом случае шунт будет работать и как измеритель, и как токоограничитель.

Например, если использовать ряд сопротивлений 2МОм–20МОм с шагом 2МОм и шунтом 32031288.854Ом, можно математически высчитывать протекающий ток и делать дальнейший расчет на сопротивление изоляции конкретного проводника. Для такого анализа потребуется цифровой анализатор с точностью 5 знаков при испытательном напряжении 100В.

Также вероятно использование вместо обычного шунта, для повышения точности измерения, моста Уитстона.

### **Заключение**

Предложена методика, позволяющая тестировать одним каналом цифрового анализатора сразу несколько проводников жгута:

- концепция идентификации проводника основана на кодированном напряжении внешнего шунта;
- количество проводников определяется используемым напряжением и точностью цифрового анализатора;
- разработана принципиальная электрическая схема для создания кодированного напряжения;
- предложен алгоритм подбора сопротивлений для проводников жгута на основе двоичной системы счисления. Доказано сохранение необходимой точности цифрового анализатора при пропорциональном увеличении номиналов сопротивлений и шунта;
- высокие напряжения позволяют использовать данную методику для измерения сопротивления изоляции проводов жгута и для теста на пробой изоляции.

### **Список литературы:**

1. Крокус-Экспо. 13-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования «Testing & Control», г. Москва, 25–27 окт. 2016 г. М.: Крокус-Экспо, 2016.
2. Белов С.П. Устройство тестирования неограниченного количества проводников жгута: обнаружение разрывов, замыканий, высокого сопротивления, плохой пайки и недоразрывов. Теоретическая часть // Системная инженерия. Серия «Технические науки». Ижевск, 2017. № 1-2 (5). С. 4–12.
3. AdvanTech. PCI-1713 100 kS/s, 12-bit, 32-ch, Isolated Analog Input Card. Taipei: AdvanTech Co., Ltd, 2005.
4. НВП «Болид». Прибор приемно-контрольный (адресный расширитель шлейфов) охранно-пожарный ППКОП 01121-20-1 «Сигнал-20П исп.01», «Сигнал-20П SMD»: руководство по эксплуатации. Моск. обл., Королев: НВП «Болид», 2015.
5. НВП «Болид». Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М»:

руководство по эксплуатации. Моск. обл., Королев: НВП «Болид», 2011.

6. Белов С.П. Уникализатор сопротивлений v.1.0. Проверка уникальности номиналов параллельных соединений для выбранного ряда резисторов. Используется для расчетов при создании тестеров жгутов [Электронный ресурс] / Белов С.П. 2017 г. URL: [http://www.bad-good.ru/programs.html#unique\\_resistances](http://www.bad-good.ru/programs.html#unique_resistances) (дата обращения: 10.05.2017).

7. ФГУП ГосНИИП. Жгуты. Технические условия. 6М0.485.704ТУ. Москва: ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения», 1983. [Внутренний документ].

8. Правила эксплуатации электроустановок. Издание седьмое. Москва: ОАО «ВНИИЭ», 2003. Таблица 1.8.34.