

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 1 / 2025, Vol. 12, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/17NZOR125.pdf>

DOI: 10.15862/17NZOR125 (<https://doi.org/10.15862/17NZOR125>)

2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Филимонов, М. Д. Проверка влияния коэффициента укрутки на конечную длину заготовок проводов для ответственных цепей автомобиля в конструкторской документации жгутов проводов / М. Д. Филимонов, Е. А. Матвеева // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/17NZOR125.pdf>. DOI: 10.15862/17NZOR125.

For citation:

Filimonov M.D., Matveeva E.A. Checking the influence of the twist coefficient on the final length of wire blanks for critical vehicle circuits in the design documentation of wire harnesses. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(1): 17NZOR125. Available at: <https://resources.today/PDF/17NZOR125.pdf>. DOI: 10.15862/17NZOR125. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 65.011.56

Филимонов Михаил Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия
Аспирант

E-mail: Filimonov_md@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1266000

Матвеева Елена Александровна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия
Кандидат технических наук, доцент

E-mail: helen_matveeva@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0582-2620>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=83169

Проверка влияния коэффициента укрутки на конечную длину заготовок проводов для ответственных цепей автомобиля в конструкторской документации жгутов проводов

Аннотация. В данной статье описывается система взаимодействия различных электронных узлов и блоков современных автомобилей, а также важность защиты линий обмена данных от помех. Автомобилестроение в современных условиях отличается значительным присутствием электронных систем, связанных между собой. Системами, как правило, управляет контроллер. Для корректной работы систем необходима информация о работающих устройствах, что позволяет скорректировать работу двигателя. Для обеспечения работоспособности всех систем необходимо обеспечить связь между основными блоками управления. Так как блоки находятся в разных частях автомобиля, требуется расчет длин межблочных соединений. Если не проводить подобные расчеты, то в системе могут возникать помехи, негативно отражающиеся на работоспособности системы. Одним из применяемых вариантов помехозащищённого соединения является витая пара, при производстве которых длина заготовок заведомо больше конечной длины между устройствами.

В статье определяются формулы для расчета коэффициента укрутки проводов в зависимости от параметров свиваемых проводов, таких как внешний диаметр и шаг свивки. Вычисляется коэффициент укрутки для наиболее распространенных конфигураций проводов: 2, 3, 4 провода, внешних диаметров по сечениям токопроводящей жилы от 0,35 до 2,0 мм², и шагов свивки 30 мм.

Затрагивается вопрос автоматизации и учета коэффициентов укрутки. Определяется приблизительные потери расхода проводов для современного отечественного легкового автомобиля при отсутствии в расчете данных коэффициентов.

Ключевые слова: CAN шина; свивка; шаг свивки; коэффициент укрутки; длина провода; диаметр витка; диаметр изоляции; помехоустойчивость

Введение

Согласно статистике, в течение последнего десятилетия масса бортовой сети увеличилась на 10 кг — по килограмму в год. У некоторых автомобилей суммарная масса электрики уже превышает полцентнера. Современные автомобили характеризуются большим количеством электроники и электронных систем, которые становятся все более взаимосвязанными. Общая длина проводов растет, их пучки становятся все толще [1]. По сравнению с автомобилями пятнадцати-двадцатилетней давности, характеризующихся значительным количеством разрозненных систем, функционировавших независимо друг от друга: поворотники, стеклоочиститель, радио, в современных автомобилях эти системы более взаимосвязаны. Кроме того, значительно увеличился и перечень различных систем электроники в современных автомобилях. Появились такие системы как парктроник, системы стабилизации, подушки безопасности, адаптивный круиз контроль и другие, связанные между собой.

Каждой системой или несколькими, как правило, управляет контроллер. Даже такая простая, как, казалось бы, система подогрева сидений или заднего стекла тяготеет в сторону автоматизации управления в виде таймера отключения. И это оправдано, потому что, в нынешних условиях плотности движения в городах, еще и зимой, водителю отвлекаться и помнить о том, что нужно выключить ту или иную систему будет ненужно.

Так как потребителей много, то основным контроллерам двигателя и салонной части автомобиля необходимо получать информацию о включенных устройствах для корректировки работы двигателя. Например, климат контроль, включение которого в летний период значительно нагружает двигатель и следовательно контроллер двигателя должен учитывать режим работы кондиционера, моменты его включения, особенно с применением автоматических коробок передач [2].

Как видим, концепция развития систем электроснабжения автомобиля диктует требования по переходу от аналоговой связи между устройствами к цифровой. Следовательно тенденция в наличии у исполнительных механизмов собственные блоки управления. К которым подходят уже не толстые жгуты, а лишь один или пара информационных проводов, не считая питания. Такая архитектура позволяет уменьшить общее количество проводов и их сечения, что снижает массу и стоимость проводки, а также упростить прокладку жгутов [3].

Для того чтобы обеспечивать работоспособность всех систем необходима связь всех блоков управления. В автомобильной промышленности принят стандарт CAN (Controller Area Network) шины по стандарту ISO 11898.

Значимость системы

Сегодня в автомобиле среднего класса около 70 блоков управления с собственными алгоритмами [4]. В современном автомобиле обычно несколько CAN-шин. Так надежнее: в экстремальной ситуации сломается не вся система, а лишь часть.

CAN шины отличаются друг от друга не только длиной и архитектурой, но и скоростью передачи данных. Она получает сигналы от всех контроллеров и выдает в ответ информацию об ошибках, необходимых корректировках и изменениях. CAN-шина также обеспечивает работу: противоугонной системы (подключает сигнализацию); подушек безопасности; климат-контроля в машине; поворота руля; системы парковки автомобиля; блокировки дверей; стеклоочистителей; системы двигателя, трансмиссии; информационного и навигационного модулей. Кроме того, именно через CAN-шину подключаются все сторонние устройства диагностики и мониторинга [5].

Как известно, при протекании электрического тока через проводник возникает магнитное поле, а если проводник поместить в изменяющееся магнитное поле, то через него потечёт ток. Именно поэтому токи в силовых кабелях наводят помехи в сигнальных линиях, если они расположены рядом. То же самое происходит, если рядом расположено много сигнальных линий — они создают помехи друг для друга и искажают сигналы. Если помех слишком много, то передача сигнала становится и вовсе невозможной — принимающее устройство просто не поймёт, что ему было передано.

Как правило, блоки управления различных систем расположены в разных частях автомобиля. Что требует особого тщательного расчета длин межблочных соединений. Так как длины между элементами системы должны быть в определенных пределах для синхронизации работы всей системы. В противном случае, в CAN-шине могут возникать помехи, влияющие на ее работоспособность.

Цель расчета

Как мы видим, система CAN-шины является одной из основных, ответственной, влияющей на работоспособность автомобиля в целом. Поэтому отдельное внимание нужно отвести проектированию, расчету и проверке этой системы на помехоустойчивость. Для повышения помехоустойчивости применяется витая пара проводов.

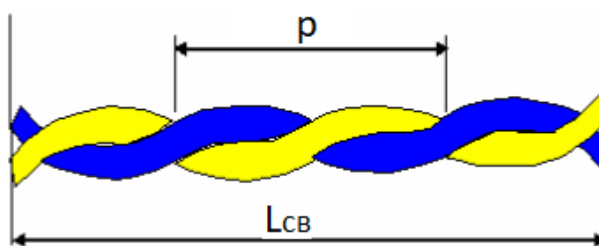
В витой паре провода располагаются очень близко друг к другу. Если возникает внешняя электромагнитная помеха, то она является синфазной и наводит одинаковый всплеск напряжения в обоих проводах шины. В итоге на обоих проводах появляется наведенный помехой импульс, но разница потенциалов между проводами при этом не меняется. Это позволяет эффективно подавлять внешние помехи, что является большим преимуществом CAN-шины [6].

Шаг жил напрямую влияет на способность передачи сигнала, а разные шаги жил имеют разные возможности защиты от помех для сигналов разных длин волн. Однако, за исключением CAN-шины, международные и отечественные стандарты не определяют длину скрутки кабелей витой пары. В технических требованиях к физическому уровню CAN-шины легкового автомобиля GB/T 36048 предусмотрено, что размер скрутки провода CAN находится в диапазоне 25 ± 5 мм (33–50 витков/метр), что соответствует размеру скрутки CAN в SAE J2284.

Как правило, каждая автомобильная компания имеет свои собственные стандарты шага свивки или соблюдает требования каждой подсистемы от производителя. Для отечественных автомобилей шаги скрутки лежат в диапазоне от 30 мм CAN-шины до 50 мм второстепенные цепи.

Ошибки в определении расстояния скрутки витой пары напрямую влияют на уровень помехоустойчивости, а случайность ошибки расстояния скрутки вызывает неопределенность в прогнозировании перекрестных помех в кабелях витой пары. Параметры оборудования для производства витой пары. Угловая скорость поворотной оси является ключевым фактором, влияющим на размер индуктивной связи витой пары. В процессе производства витой пары необходимо учитывать, чтобы обеспечить витой паре устойчивость к помехам.

Одним из этапов проектирования автомобиля является проверка длин всех проводов CAN-шины. Задача, казалось бы, не сложная, берем расстояние по жгуту проводов между необходимыми блоками. Но в данных цепях, как мы уже знаем, применяют витые пары проводов, которые при производстве скручиваются из прямых одиночных. В процессе скрутки конечная длина скручиваемых проводов уменьшается на коэффициент укрутки. Этот коэффициент зависит от шага свивки (рис. 1) и диаметров скручиваемых проводов [7; 8].



p — шаг свивки; $L_{св}$ — длина готовой свивки

Рисунок 1. Свивка 2-х проводов (составлено автором)

Необходимо определить коэффициент укрутки для заданных шагов свивки, сечений проводов и их конструкции, чтобы оценить его влияние на длину проводов между блоками контроллеров в автомобиле и как следствие возможность ошибки в расчетах, влияющих на помехи или работоспособность системы CAN-шины в целом.

Усложняет задачу большая вариативность комплектаций автомобилей, которая затрагивает наличие или отсутствие определённых блоков.

Для автоматизации данного процесса необходимо использовать соответствующее программное обеспечение, позволяющее быстро и без ошибок сформировать проектную документацию с детальной спецификацией для каждого жгута проводов в том числе и по свивкам [9].

Производство автомобильных жгутов проводов узкоспециальное направление, с уникальной спецификой расчета. К сожалению, даже крупные производители программного обеспечения не ориентируются на небольшую группу рынка для решения задач по данному направлению. Доступные программные же пакеты для расчета жгутов проводов не обладают функционалом расчета действительной (конечной) длины заготовок проводов для скрутки, чтобы получить свивку нужной длины между блоками жгута.

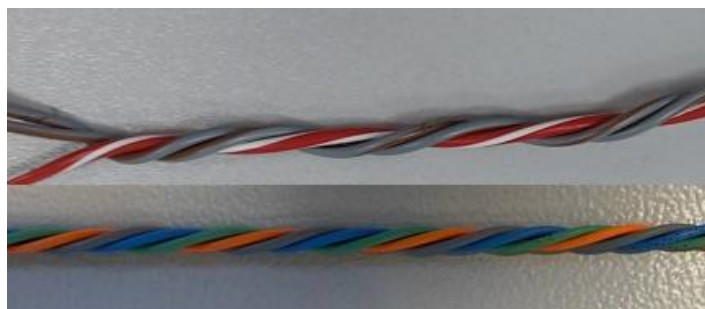


Рисунок 2. Примеры витых проводов (составлено автором)

Следовательно, есть необходимость проверить величину погрешности для разных сечений свиваемых проводов и их количеств, так как в автомобильной промышленности широко применяются свивки из 2 и 3 проводов (рис. 2).

В связи с вышесказанным появляется необходимость определить формулы расчета коэффициента укрутки для различных конфигураций и сечений проводов. А в дальнейшем добавить соответствующий модуль в программу расчета жгутов проводов.

Расчет коэффициента укрутки

Определим формулу для расчета коэффициента укрутки двух проводов. Для этого узнаем фактическую длину провода в шаге свивки. По теореме Пифагора длина витка цилиндрической спирали равна (формула 1):

$$L_v = \sqrt{(\pi d)^2 + p^2}, \quad (1)$$

где:

d — диаметр витка;

p — шаг витка (Теорема Пифагора).

Рассматривая сечение витой пары, видим, что диаметр витка будет равен расстоянию между центрами свиваемых проводов. Так как витые пары, как правило, выполняются из проводов одинакового сечения, то d будет равен диаметру одного из свиваемых проводов (рис. 3).

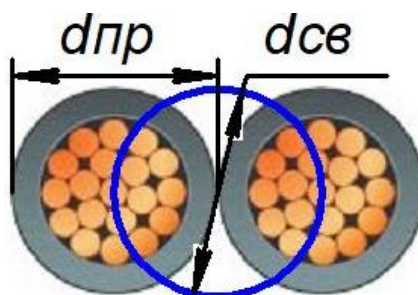


Рисунок 3. Разрез 2-х свитых проводов (составлено автором)

Определив, сколько раз укладывается шаг свивки в заданной длине (рис. 1) и умножив это значение на длину витка, получим формулу 2 для расчета длины свитого провода:

$$L_{пр} = \frac{L_{св}}{p} L_v = \frac{L_{св}}{p} \sqrt{(\pi d_{пр})^2 + p^2} \quad (2)$$

В случае свивки 3-х проводов имеем следующую конфигурацию сечения свитых проводов (рис. 4).

Соединив центры проводов, получим равносторонний треугольник. При этом диаметр витка свивки будет диаметром описанной окружности равностороннего треугольника, сторона которого (a) будет равна внешнему диаметру провода. Следовательно, диаметр описанной окружности по стороне треугольника будет равен (формула 3):

$$d = \frac{2a}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

где:

a — будет являться диаметром провода, при всех равных сечения скручиваемых проводов.

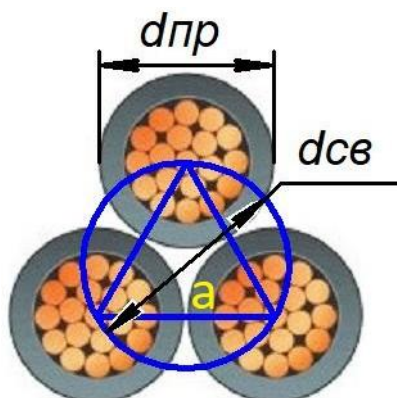


Рисунок 4. Разрез 3-х скрученных проводов (составлено автором)

Подставив данное выражение в исходную формулу 2 получим формулу 4 (длина единичного провода при скрутке 3-х проводов):

$$L_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{св}}}{p} \sqrt{\frac{(2\pi d_{\text{пр}})^2}{3} + p^2}. \quad (4)$$

Для экзотического варианта из 4-х витых проводов форма сечения примет следующий вид (рис. 5).

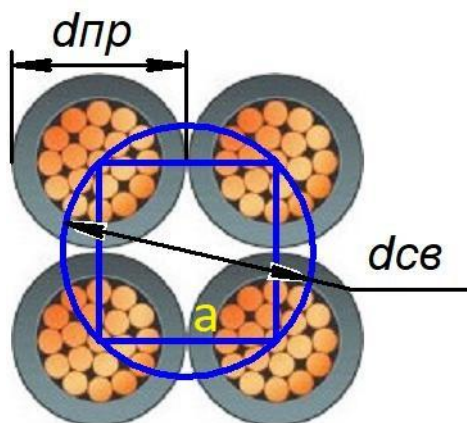


Рисунок 5. Разрез 4-х скрученных проводов (составлено автором)

Видим, что, a — сторона квадрата, вписанного в окружность, опять же будет являться диаметром провода, при всех равных сечениях скручиваемых проводов. В этом случае диаметр описанной окружности через диаметр провода будет иметь вид:

$$d = a\sqrt{2}. \quad (5)$$

Подставляя формулу 5 в формулу 2 получим формулу 6 коэффициента укрутки для 4-х проводов:

$$L_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{св}}}{p} \sqrt{2(\pi d_{\text{пр}})^2 + p^2}. \quad (6)$$

По аналогии можно вывести формулу для скрутки 5-ти и более проводов, однако в производстве автомобильных жгутов проводов такие скрутки скорее всего не применяются.

Основная часть витых пар современных легковых автомобилей выполняется из сечений 0,35 мм² и 0,5 мм². Внешний диаметр этих проводов составляет 1,4 и 1,5 мм соответственно. При наиболее распространенном шаге витых проводов в 30 мм коэффициент укрутки составляет 1–1,2 %, что не будет значительно влиять на конечную длину проводов в готовом жгуте и следовательно на работоспособность системы.

Наиболее часто используемой конструкцией витых проводов является витая пара, свивки из 3-х проводов встречаются довольно редко.

Коэффициенты укрутки для основных сечений, конструкций и шага свивок 30 мм сведены в таблицу 1:

Таблица 1

Коэффициенты укрутки для часто применяемых конструкций свивок

Сечение провода, мм ²	Внешний диам. провода, мм	Кол-во проводов в свивке		
		2	3	4
0,35	1,4	1,011	1,014	1,021
0,5	1,5	1,012	1,016	1,024
0,75	1,8	1,018	1,023	1,035
1	2,1	1,024	1,032	1,047
1,5	2,4	1,031	1,041	1,061
2	2,8	1,042	1,056	1,083

Составлено автором

Для определения понимания порядка ошибки при отсутствии учета коэффициента укрутки, возьмем общую длину витых проводов, в перспективных отечественных моделях, которая достигает 130 м. И вычислим приблизительную длину наиболее часто используемой витой пары сечением 0,5 мм². Длина расходуемых проводов будет составлять 131–131,5 м для одного провода. При годовом выпуске автомобилей, например, в 50 000 шт. общий перерасход проводов витых пар будет составлять примерно 150 км. Что довольно существенно с точки зрения стоимости [10].

Вывод

Коэффициент укрутки, незначительно влияет на длину провода в отдельном автомобиле и не может оказать значительного влияния на работоспособность систем, но с точки зрения учета и более реалистичного подхода формирования длин проводов жгута данные коэффициенты должны быть включены в состав программного обеспечения по расчету жгутов проводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеева, Е.А. Формирование базовой и перспективной моделей бизнес-процесса по подготовке конструкторской документации жгутов проводов / Е.А. Матвеева, М.Д. Филимонов // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11, № 3. — 7 с.
2. Матвеева, Е.А. Моделирование информационной системы для расчета длин жгутов-проводов автомобиля / Е.А. Матвеева, М.Д. Филимонов, П.Ю. Миронов // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: сб. ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. — Пенза, 2024. — С. 97–101. EDN: HVBYFO.

3. Федоров, Е.Ю. Комплекс оптимизационно-расчетных программ системы автоматизированного проектирования электрооборудования транспортных средств / Е.Ю. Федоров, В.С. Терещук, А.В. Ференец // АВИА-2013: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. — Киев: НАУ, 2013. — Т. I. — С. 3.70–3.73.
4. Хульцебош, Ю. USB в электронике / Ю. Хульцебош; пер. с нем. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 224 с.
5. Хернер, А. Автомобильная электрика и электроника / А. Хернер, Х.-Ю. Риль; пер. с нем. ЧМП РИА "GMM-пресс". — М.: ООО "Издательство "За рулем", 2013. — 624 с.
6. Николаев, П.А. Помехоустойчивость автотранспортных средств в условиях эксплуатации / П.А. Николаев, А.С. Подгорный // Технологии электромагнитной совместимости. — С. 42–49. EDN: FJACTD.
7. Зайцев, В.Н. Сквозная технология подготовки производства новых автомобилей / В.Н. Зайцев, С.Г. Пургин [и др.] // Автомобильная промышленность. — 1996. — № 2. — С. 28–29.
8. Суслин, В.П. Программное обеспечение компьютерных технологий / В.П. Суслин, А.И. Макаров, А.В. Суслин // Автомобильная промышленность. — 1999. — № 8. — С. 38–39.
9. Федоров, Е.Ю. Автоматизированная трассировка жгутов и проводов грузового автомобиля / Е.Ю. Федоров, В.С. Терещук // Вестник Казанского государственного технического университета имени А.Н. Туполева. — 2013. — № 3. — С. 60–64. EDN: SMXDQH.
10. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: монография / М.И. Юдин. — Краснодар: КГАУ, 2004. — 239 с.

Filimonov Mikhail Dmitrievic

Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

E-mail: Filimonov_md@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1266000

Matveeva Elena Alexandrovna

Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

E-mail: helen_matveeva@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0582-2620>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=83169

Checking the influence of the twist coefficient on the final length of wire blanks for critical vehicle circuits in the design documentation of wire harnesses

Abstract. This article describes the system of interaction of various electronic units and blocks of modern cars, as well as the importance of protecting data exchange lines from interference. The automotive industry in modern conditions is distinguished by a significant presence of electronic systems interconnected. The systems are usually controlled by a controller. For the correct operation of the systems, information about the operating devices is required, which allows you to adjust the engine operation. To ensure the operability of all systems, it is necessary to provide communication between the main control units. Since the units are located in different parts of the car, it is necessary to calculate the lengths of the inter-unit connections. If such calculations are not carried out, then interference may occur in the system, negatively affecting the operability of the system. One of the used options for interference-proof connection is twisted pair, in the production of which the length of the blanks is obviously greater than the final length between the devices.

The article defines formulas for calculating the wire twist coefficient depending on the parameters of the twisted wires, such as the outer diameter and twist pitch. The twist coefficient is calculated for the most common wire configurations: 2, 3, 4 wires, external diameters by the cross-sections of the conductive core from 0,35 to 2,0 mm², and twist pitches of 30 mm. The issue of automation and accounting of twist coefficients is addressed. Approximate losses in wire consumption for a modern domestic passenger car are determined in the absence of these coefficients in the calculation.

Keywords: CAN bus; twist; twist pitch; twist coefficient; wire length; turn diameter; insulation diameter; noise immunity