

Н.И. Белоруссов

Электрические кабели, провода и шнуры

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 62-63
ББК 30.6
Н11

Н11 **Н.И. Белоруссов**
Электрические кабели, провода и шнуры / Н.И. Белоруссов – М.: Книга по Требованию, 2023. – 704 с.

ISBN 978-5-458-29336-5

Описаны конструктивные элементы кабелей, проводов и шнурков, конструкции основных кабелей, проводов и шнурков, выпускаемых промышленностью, их внешние диаметры и массы. Приведены электрические и механические характеристики, а также значения напряжений при электрических испытаниях, данные о допустимых токовых нагрузках. Рекомендованы области применения кабелей и проводов. -4-е издание справочника вышло в 1979 г. Для инженеров и техников проектных и монтажных организаций и предприятий, связанных с применением кабелей, проводов и шнурков.

ISBN 978-5-458-29336-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

- L — индуктивность; $L_{\text{в}}$ — внутренняя индуктивность; $L_{\text{н}}$ — наружная индуктивность;
 l — длина образца;
 M — индуктивность взаимная; магнитная связь;
 m — индуктивная связь; число проволок в жиле;
 N — электромагнитное влияние на ближнем конце; мощность;
 n — число жил в кабеле; число витков;
 P — мощность; P_0 — мощность в начале кабельной линии;
 P_l — мощность в конце кабельной линии; вес;
 p — давление; мощность потерь; $p_{\text{ж}}$ — потери в жилах;
 $p_{\text{об}}$ — потери в оболочке;
 Q — количество электричества, заряд; количество теплоты;
 $Q(x)$ — коэффициент вихревых токов;
 q — коэффициент заполнения; q_c — площадь заполнения;
 R — радиус кабеля, радиус изоляции кабеля, провода; электрическое сопротивление токопроводящих жил; R_0 — сопротивление постоянному току; R_f — сопротивление переменному току; R_a — электрическое активное сопротивление; $R_{\text{из}}$ — сопротивление изоляции; R_x — электрическое реактивное сопротивление;
 r — радиус токопроводящей жилы; активная составляющая магнитной связи;
 S — тепловое сопротивление;
 s — сечение токопроводящей жилы; площадь;
 T — абсолютная температура по Кельвину;
 t — температура; $t_{\text{ж}}$ — токопроводящей жилы; $t_{\text{ср}}$ — окружающей среды;
 U — напряжение электрическое, разность потенциалов;
 $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение; $U_{\text{ф}}$ — фазовое напряжение;
 $U_{\text{макс}}$ — максимальное напряжение; $U_{\text{пр}}$ — пробивное напряжение; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение; U_0 — напряжение в начале кабельной линии; U_l — напряжение в конце кабельной линии;
 u — падение напряжения;
 V — объем;
 v — скорость распространения; скорость;
 $W_{\text{м}}$ — энергия магнитного поля; $W_{\text{э}}$ — энергия электрического тока; $W_{\text{об}}$ — потери в оболочке на нагрев; $W_{\text{ж}}$ — потери в жилах на нагрев;
 X — сопротивление реактивное; X_c — емкостное сопротивление; X_L — индуктивное сопротивление;
 Z — полное сопротивление; $Z_{\text{в}}$ — волновое сопротивление; $z_{\text{д}}$ — волновое сопротивление диэлектрика; $z_{\text{м}}$ — волновое сопротивление металла;
 α — температурный коэффициент электрического сопротивления; коэффициент линейного расширения; коэффициент затухания, километрическое затухание; угол наложения ленты, оплетки; $\alpha_{\text{из}}$ — температурный коэффициент сопротивления изоляции;
 β — коэффициент фазы; угол;
 Γ — геометрический множитель;

- γ — удельная электропроводимость (полная), коэффициент распространения; удельный вес;
 Δ — толщина: Δ_i — изоляции; Δ_{ob} — оболочки, защитных покровов; Δ_f — фазной изоляции; Δ_p — поясной изоляции; Δ_e — экрана;
 δ — угол диэлектрических потерь;
 ϵ — диэлектрическая проницаемость;
 ζ — глубина проникновения тока;
 η — вязкость; коэффициент использования изоляции;
 k — коэффициенты, учитывающие форму жилы, внутреннего и внешнего провода;
 Λ — отношение скорости распространения;
 λ — длина волны; коэффициент теплопроводности;
 μ — магнитная проницаемость;
 χ — коэффициент укрутки жил и кабеля;
 ξ — коэффициент укорочения;
 $\pi = 3,14$;
 ρ — удельное электрическое сопротивление; ρ_v — объемное сопротивление; ρ_s — поверхностное сопротивление; плотность;
 σ — удельное тепловое сопротивление; временное сопротивление;
 T — постоянная времени; время пробега сигнала;
 τ — время;
 Φ — магнитный поток; поток тепловой;
 Φ — угол сдвига фаз между напряжением и током;
 Ψ — коэффициент заполнения жилы; токосцепление; поток электрического смещения;
 $\omega = 2\pi f$ — угловая частота;
 v — волновое число;
 ϑ — коэффициент экранирования.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАБЕЛЕЙ, ПРОВОДОВ И ШНУРОВ

1-1. КЛАССИФИКАЦИЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Кабельную продукцию в зависимости от конструкций делят на кабели, провода и шнуры.

К а б е л ь — одна или более изолированных жил, заключенных в герметичную (металлическую или неметаллическую) оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации могут быть броня и защитные покровы.

П р о в о д — одна неизолированная или одна или более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации могут быть неметаллическая оболочка и металлические или неметаллические защитные покровы.

Ш н у р — две или более изолированных гибких или особо гибких жил (сечением до $1,5 \text{ mm}^2$), скрученных или уложенных параллельно, поверх которых в зависимости от условий эксплуатации могут быть неметаллическая оболочка и защитные покровы.

Основными элементами всех типов кабелей, проводов и шнурков являются токопроводящие жилы, изоляция, экраны, оболочка и наружные покровы. В зависимости от назначения и условий эксплуатации кабелей и проводов отдельные элементы (экран и наружные покровы) могут отсутствовать.

1-2. ТОКОПРОВОДЯЩИЕ ЖИЛЫ

Токопроводящие жилы силовых кабелей

Токопроводящие жилы силовых кабелей изготавливают из меди (марки М0 и М1 по ГОСТ 2112-62) или алюминия (марок А0 и А1 по ГОСТ 3549-55) и нормируют по их сечению. Медную проволоку применяют мягкую марки ММ (отожженную) и твердую марки МТ (не отожженную), а алюминиевую — твердую марки АМ (отожженную), полутвердую марки АПТ и твердую марки АТ (неотожженную).

В зависимости от условий монтажа и эксплуатации медные и алюминиевые жилы изготавливают: однопроволочными или многопроволочными; круглыми, секторными или сегментными. Жилы сечением $2,5$ — 16 mm^2 изготавливают круглыми однопроволочными, а сечением 25 mm^2 и выше — круглыми многопроволочными для одножильных, сегментными — для двухжильных и секторными — для трех- и четырехжильных кабелей.

режильных кабелей. Допускают однопроволочные алюминиевые жилы сечением 25—120 мм^2 и медные — 25—50 мм^2 . Технически целесообразно увеличение сечения сплошных алюминиевых токопроводящих жил до 300 мм^2 . Гибкость кабеля с такими жилами сохраняется на том же уровне, что и для кабеля с многопроволочными жилами (кабель со сплошными жилами имеет меньший диаметр по сравнению с кабелем с многопроволочными жилами, и поэтому изгибающий момент также будет меньше, чем у кабеля большего диаметра).

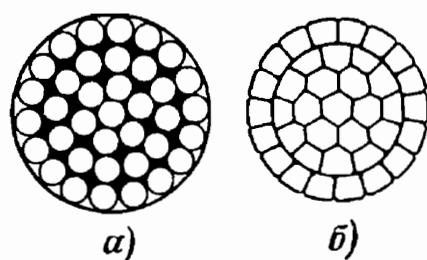


Рис. 1-1. Схема круглой токопроводящей жилы.
а — неуплотненной; б — уплотненной.

Минимальное число проволок в многопроволочных жилах силовых кабелей и минимальный диаметр проволок наружного повива этих жил приведены в табл. 1-1. Многопроволочные жилы скручивают из отдельных проволок с шагом скрутки, равным $(18 \div 20) D$. Укрупка жил составляет 1,2—1,5%.

Применение секторных и сегментных жил вместо круглых позволяет уменьшить диаметр кабеля на 20—25%, соответственно сократить расход материалов на изоляцию, оболочку и покровы.

Таблица 1-1

Круглые токопроводящие жилы одножильных силовых кабелей

$s, \text{мм}^2$		Номи- нальное число проводок	Конструкция жилы	Диаметр прово- локи, мм	Диаметр жилы, мм	Масса жилы, кг/км	
номи- наль- ное	факти- ческое					алюмини- евой	меди
2,5	2,42	1	1	1,76	1,76	6,6	21,6
4	3,88	1	1	2,23	2,23	10,5	34,5
6	5,82	1	1	2,73	2,73	15,7	51,7
10	9,7	1	1	3,52	3,52	26,2	86,2
16	15,52	1	1	4,45	4,45	41,8	138
25	24,25	7	1+6	2,10	6,3	66,3	218
35	33,95	7	1+6	2,49	7,5	98	305
50	48,5	19	1+6+12	1,81	9,1	132	436
70	67,9	19	1+6+12	2,14	10,7	186	611
95	92,15	19	1+6+12	2,49	12,5	252	829
120	116,4	19	1+6+12	2,80	14,0	318	1 047
150	145,5	19	1+6+12	3,13	15,7	398	1 309
185	179,45	37	1+6+12+18	2,44	17,4	490	1 614
240	232,8	37	1+6+12+18	2,83	19,8	635	2 074
300	291	37	1+6+12+18	3,17	22,2	795	2 617
400	388	37	1+6+12+18	3,66	25,6	1 056	3 489
500	485	37	1+6+12+18+24	3,18	28,6	1 324	4 362
625	606	61	1+6+12+18+24	3,56	32,0	1 656	5 452
800	776	61	1+6+12+18+14+30	3,30	36,3	2 062	6 979

При меч ани ие. Массу алюминия и меди для кабелей ОСВ и ОСК различных сечений необходимо умножить на 3,007 (три жилы с учетом укрупки).

Уплотнение жил также дает экономию материалов изоляции, оболочки, брони и покровов. Сечение круглой неуплотненной и уплотненной жилы изображено на рис. 1-1, а сечение уплотненных сегментной и секторной жил — на рис. 1-2.

Конструкции круглых уплотненных жил для одножильных кабелей приведены в табл. 1-2, круглых сплошных и сегментных уплот-

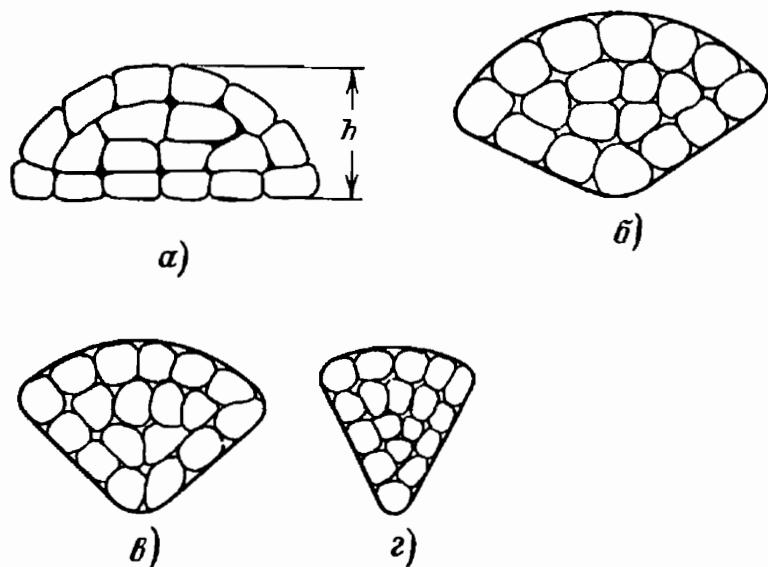


Рис. 1-2. Схема уплотненных токопроводящих жил силовых кабелей.

а — сегментной жилы двухжильных кабелей; *б* — секторной жилы трехжильных кабелей; *в* — секторной рабочей жилы четырехжильного кабеля; *г* — секторной нулевой жилы четырехжильного кабеля.

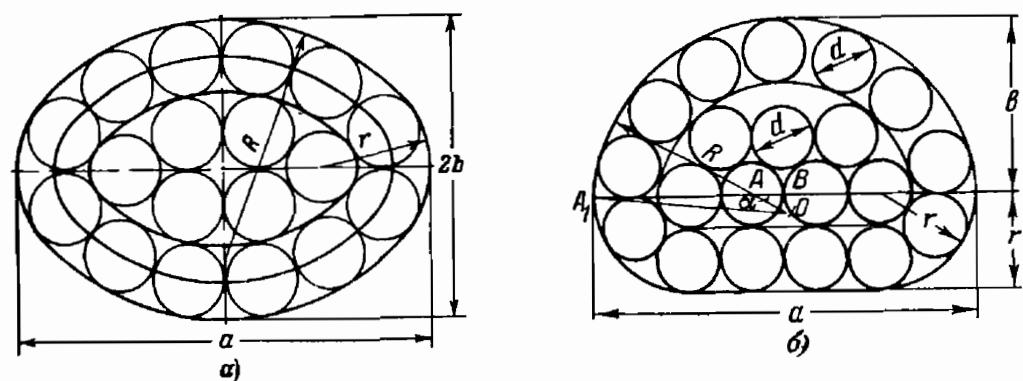


Рис. 1-3. Конструкции секторной (*а*) и сегментной (*б*) токопроводящей жилы сечением 25—70 мм^2 (до уплотнения).

ненных жил двухжильных кабелей — в табл. 1-3, круглых сплошных и секторных уплотненных жил трехжильных кабелей — в табл. 1-4, а четырехжильных кабелей — в табл. 1-5.

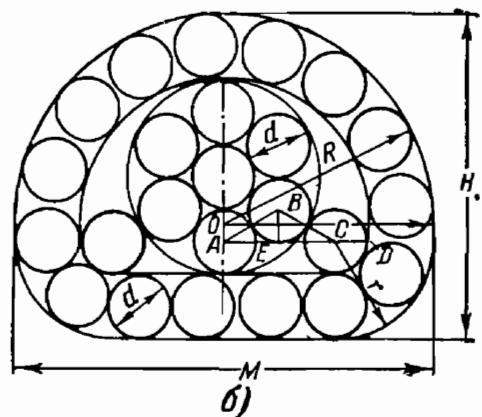
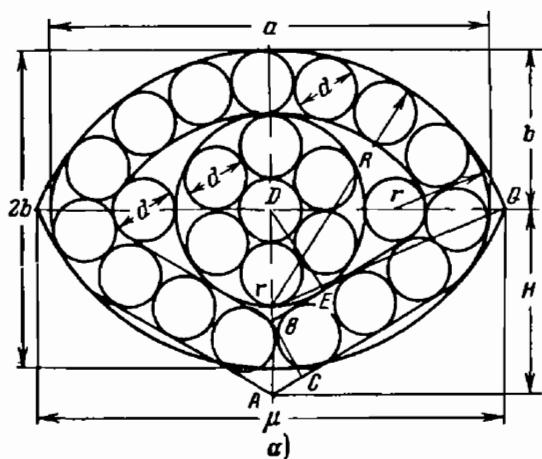


Рис. 1-4. Конструкция секторной (а) и сегментной (б) токопроводящей жилы сечением 70—120 мм^2 (до уплотнения).

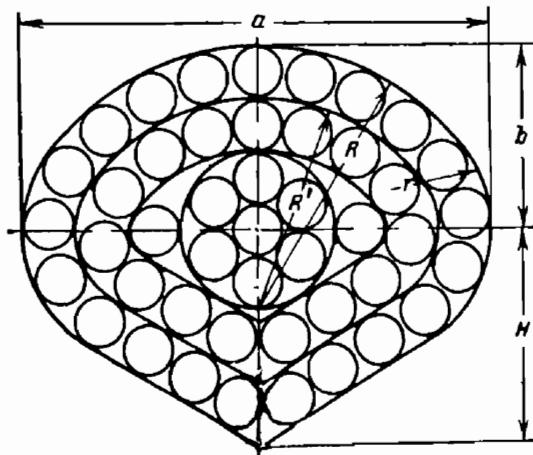


Рис. 1-5. Конструкция секторных токопроводящих жил сечением 150—240 мм^2 (до уплотнения).

Секторные и сегментные жилы изготавливаются трех основных конструкций: секторной сечением 25—70 мм^2 — параллельный пучок из 6 проволок и один повив из 12 проволок одипакового диаметра (рис. 1-3,а); сегментной — параллельный пучок из 7 проволок и повив из 13 проволок одинакового диаметра (рис. 1-3,б); секторной и сегментной сечением 70—120 мм^2 — скрученная заготовка из 7 проволок, 2 продольных проволок одинакового диаметра и повив из 16 проволок меньшего диаметра или 15 проволок диаметра, одинакового с сердечником (рис. 1-3); секторной сечением 150—240 мм^2 — скрученная заготовка из 7 проволок, 2 продольных проволок и двух повивов из 15—21 проволок одинакового диаметра (рис. 1-5).

Секторные жилы трехжильных кабелей имеют угол, равный 120° (рис. 1-2,б), а рабочие жилы четырехжильных кабелей — угол, равный $94,5—100^\circ$, нулевой жилы — 60° (рис. 1-2,в и г). Жилы не должны иметь заусенцев, выпучивания и обрывов отдельных проволок. Края секторов и сегментов выполняют закругленными с радиусом не менее 1 мм . Фактическая площадь сечения круглой однопроволочной жилы

$$s = 0,97 s_{\text{н}} = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ мм}^2, \quad (1-1)$$

где 0,97 — коэффициент, учитывающий допустимое уменьшение фактического сечения жилы при использовании меди повышенной электропроводно-

Таблица 1-2

Конструкция круглых уплотненных токопроводящих жил
одножильных силовых кабелей

<i>s, mm²</i>	Конструкция жилы и диаметр проволок по повивам, мм	<i>d, mm</i>
70	2,6+6×2,6+12×2,19	9,6
95	3,0+6×3,0+12×2,57	11,2
120	3,38+6×3,38+12×2,88	12,5
185	3,19+6×3,19+12×2,80+18×2,52	16,0
240	3,17+6×3,17+12×3,17+18×2,87	18,2
300	3,54+6×3,54+12×3,54+18×3,21	20,4
400	3,72+6×3,72+12×3,46+18×3,05+24×2,85	23,1
500	4,16+6×4,16+12×3,88+18×3,41+24×3,07	25,8

Таблица 1-3

Круглые и сегментные уплотненные жилы
двухжильных силовых кабелей

<i>s, mm²</i>	Минимальное число проволок в жиле	Конструкция жил		Высота сегментной жилы, мм	Масса двух жил кабеля, кг/мм	
		число проволок	диаметр проволоки, мм		алюминиевых	медных
2,5	1	1	1,76	—	13,2	43,4
4	1	1	2,23	—	21,5	66,4
6	1	1	2,73	—	31,6	104
10	1	1	3,52	—	54,0	174
16	1	1	4,45	—	84,4	278
25	12	7+13	1,28	4,2	134	410
35	15	7+13	1,28	5,0	187	615
50	18	7+13	1,80	6,0	267	879
70	19	7+13	2,13	7,2	374	1 231
95	19	9+15	2,25	8,5	597	1 670
120	19	9+15	2,33	9,6	640	2 110
150	36	9+15+21	2,07	10,5	800	2 637

Таблица 1-4

Круглые и секторные уплотненные жилы
трехжильных силовых кабелей

S, мм^2	Минимальное число проволок в жиле	Конструкция жил		Высота секторной жилы, мм	Масса трех жил кабеля, кг/мм	
		число проволок	диаметр проволоки, мм		алюминиевых	медных
2,5	1	1	1,76	—	—	65
4	1	1	2,23	—	—	101
6	1	1	2,73	—	47,4	157
10	1	1	3,52	—	79,2	260
16	1	1	4,45	—	127	417
25	12	6+12	1,34	4,9	200	659
35	12	6+12	1,59	5,8	280	923
50	15	6+12	1,90	7,0	400	1 319
70	15	6+12	2,25	8,3	561	1 616
95	18	6+12	2,62	9,8	761	2 505
120	24	9	2,62	11,2	961	3 164
		15	2,40			
150	30	6+15+21	2,07	12,8	1 201	2 956
185	36	9+15+21	2,29	14,2	1 482	4 878
240	36	9+15+21	2,62	15,4	1 922	6 329

Таблица 1-5

Круглые и секторные уплотненные жилы
четырехжильных силовых кабелей

S, мм^2	Конструкция жил				Высота секторной жилы, мм	Масса четырех жил кабеля, кг/мм			
	рабочей		нулевой			рабочей	нулевой	алюминиевых	медных
основной	нулевой	число проволок	диаметр проволоки, мм	число проволок	диаметр проволоки, мм	рабочей	нулевой	алюминиевых	медных
4	2,5	1	2,23	1	1,76	—	—	39,3	126
6	4	1	2,73	1	2,23	—	—	57,9	191
10	6	1	3,52	1	2,73	—	—	94,8	312
16	10	1	4,45	1	3,52	—	—	153	504
25	16	6+12	1,31	1	4,45	5,3	—	242	798
35	16	6+12	1,59	1	4,45	6,5	—	332	1 062
50	25	6+12	1,9	6+12	1,34	7,7	6,1	467	1 531
70	35	6+12	2,25	6+12	1,59	9,2	7,9	654	2 154
95	50	9+15	2,25	6+12	1,9	11,0	8,5	896	2 945
120	50	9	2,62	1+6+12	1,81	12,1	9,1	1 037	3 601
150	70	9+15+21	2,07	6+12	2,25	13,7	10,3	1 389	4 571
185	70	9+15+21	2,29	1+6+12	2,14	15,2	10,7	1 660	5 493

П р и м е ч а н и е. Нулевую жилу кабелей $3 \times 120 + 1 \times 50$ и $3 \times 185 + 1 \times 70$ изготавливают круглой неуплотненной.

сти. Диаметр однопроволочной круглой жилы

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,97 s_n}{\pi}} = \sqrt{1,24 s_n}, \text{ мм.} \quad (1-2)$$

Если при наложении изоляции происходит вытяжка проволоки (уменьшение сечения), то для компенсации этой вытяжки фактическое сечение жилы увеличивают на 1—2%. Многопроволочные круглые жилы обычно изготавливают с одной проволокой в центре одинакового диаметра. Диаметр проволок, из которых скручена многопроволочная круглая жила,

$$d = \sqrt{\frac{1,24 s_n}{m}}, \text{ мм.} \quad (1-3)$$

Диаметр отдельной проволоки секторной или сегментной уплотненной жилы (одинаковые диаметры проволок и уплотнение по верхнему повиву)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,97 \cdot 1,05 s_n}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1,3 s_n}{m}}, \text{ мм} \quad (1-4)$$

Радиус дуги сектора (приближенно)

$$R = \sqrt{1,01 \cdot 0,97 s_n} + \Delta_\Phi = \sqrt{0,98 s_n} + \Delta_\Phi, \text{ мм,} \quad (1-5)$$

где 1,01 — коэффициент, учитывающий вытяжку жилы.

Ширина сектора

$$b = 2(a + r) = 2[(R - r) \sin \gamma + r], \text{ мм,} \quad (1-6)$$

где a — вспомогательная величина, равная половине расстояния между центрами радиусов закругления ребер сектора; $\gamma = \arcsin \frac{a}{R - r}$ — вспомогательный угол для трехжильного кабеля. Высота сектора (с учетом радиуса закругления)

$$h = R + r - \frac{r + \Delta_{\text{ж}}}{\sin \beta}, \text{ мм.} \quad (1-7)$$

Радиус дуги сегмента (приближенно)

$$R = \sqrt{\frac{0,98 s_n}{0,5}} + \Delta_{\text{ж}}, \text{ мм.} \quad (1-8)$$

Высота сегмента

$$h = R - \Delta_{\text{ж}}, \text{ мм.} \quad (1-9)$$

Ширина сегмента

$$b = 2[(R - r) \sin \gamma + r], \text{ мм.} \quad (1-10)$$

Высоты уплотненных сегментных и секторных жил двух-, трех- и четырехжильных кабелей приведены в табл. 1-3—1-5.

Медные токопроводящие жилы кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией

Круглые медные токопроводящие жилы кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией по степени гибкости (ГОСТ 1956-70) изготавливают четырех типов (табл. 1-6):

I — нормальные для кабелей и проводов, предназначенных для неподвижной прокладки;

II — гибкие для кабелей и проводов, предназначенных для неподвижной прокладки, где требуется повышенная гибкость при монтаже, и для переносных кабелей, работающих при больших радиусах изгиба;

III — повышенной гибкости для переносных кабелей и проводов, работающих при малых радиусах изгиба и

IV — особо гибкие для кабелей и проводов, работающих в условиях, требующих особо повышенной гибкости жил.

Конструкции жил, номинальное сечение которых указано в скобках, предназначены для ограниченного применения. Медная проволока диаметром до 0,15 мм для жил может быть отожженной (ММ) или неотожженной (МГ), а выше 0,15 мм — отожженной. Для повышения механической прочности жил допускается применение неотожженной проволоки диаметром выше 0,15 мм.

Жилы скручивают из медных проволок по системе правильной скрутки. Жилы из проволоки диаметром до 1,0 мм могут быть скручены по системе пучковой (шнуровой) скрутки. Жилы I типа скручивают с противоположным направлением повива с шагом внутреннего повива не более 35 D и наружного не более 18 D. Верхний повив должен иметь левое направление. Исключение представляют жилы, предназначенные для размещения в центре кабеля, верхний повив которых должен иметь правое направление.

Жилы II, III и IV типов скручивают повивами в одну или в противоположные стороны. Жилы II и III типов скручивают в одну сторону из предварительно скрученных стренг с шагом 20 D и IV типа — 16 D. Шаг скрутки внутренних повивов жилы II типа применяют не более 14 D, III и IV типов — не более 12 D, а наружного повива не менее 16 и 14 D соответственно. Скрутку жил II, III и IV типов из стренг, скручиваемых с шагом не более 30 D, производят с шагом не более 25 D (внутренние повивы) и не более 16 D — наружный повив.

Пайку и сварку отдельных проволок или стренг в многопроволочных жилах производят в разгон без применения кислот. Допускается пайка или сварка многопроволочных жил I, II и III типов сечением до 1,5 мм² в одном повиве, а жил сечением 2,5, 4 и 6 мм² с разделением проволок или стренг не менее чем на две группы. Пайку или сварку жил IV типа производят только в разгон. Недопустимость гайки или сварки в одном сечении указывается в ГОСТ и ТУ на отдельные типы кабелей и проводов.

Жилы телефонных шнурков и особо гибких проводов изготавливают из мишуриных нитей. Поверх хлопчатобумажной нити или капрон