

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.77.07

doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-27-35

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ НЕСТАНДАРТНОГО СЕЧЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОВОДОВ «СЕНИЛЕК»)

Мирослав Игоревич Карасёв¹, Татьяна Александровна Моргаленко^{2✉}

^{1,2} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ miros.karasev@mail.ru

² margokru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9398-929X>

Аннотация

Выполнен анализ современного состояния кабельно-проводникового производства. Особое внимание уделено технологии волочения проволоки нестандартного сечения, которая используется в проводах воздушных линий электропередач. Работа содержит предложение актуальной оптимизации технологии волочения проволоки нестандартного сечения на примере пользующихся спросом проводов «СЕНИЛЕК». Рассмотрены новый подход и методы решения задачи оптимизации с применением современных САПР, приведены соответствующие расчёты и представлены графические результаты действий по предлагаемой технологии. По результатам работы был сделан вывод, что таким образом можно оптимизировать производство проводов с проволокой профильного сечения, что значительно сократит количество используемого ин-

струмента, трудоёмкость выполняемых работ и повысит производительность. Сравнительный анализ существующей на сегодняшний день и предлагаемой технологий волочения проволоки позволяет сделать вывод о том, что выполненная работа открывает и показывает возможность создавать универсальную технологию с бесконечным множеством комбинаций, способных сократить количество применяемого инструмента и, соответственно, затрачиваемых на него материальных средств, рабочей силы, а также времени на реализацию технологического маршрута, в чём и заключается, непосредственно, её актуальность и практическая ценность.

Ключевые слова: волочение, проволока, повив, сердечник, сечение, провод, скрутка, фильера.

Ссылка для цитирования:

Карасев М.И. Оптимизация технологии волочения проволоки нестандартного сечения на производстве кабельно-проводниковой продукции (на примере проводов «сенилек») / М.И. Карасев, Т.А. Моргаленко // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 1. – С.27-35. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-27-35.

Original article

Open Access Article

TECHNOLOGY OPTIMIZATION OF WIRE DRAWING WITH NON-STANDARD SECTION IN MANUFACTURING OF CABLE AND WIRE PRODUCTS (USING THE EXAMPLE OF SENILEK WIRES)

Miroslav Igorevich Karasyov¹, Tatyana Aleksandrovna Morgalenko^{2✉}

^{1,2} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ miros.karasev@mail.ru

² margokru@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9398-929X>

Abstract

The current state of cable and wire production is analysed. Special attention is paid to the technology of

drawing wire of non-standard cross-section, which is used in overhead power lines wires. The paper contains

a proposal to optimize the technology of drawing wire of non-standard cross-section using the example of popular SENILEK wires. A new approach and methods for solving the optimization problem using modern CAD are considered, appropriate calculations are given and graphical results on the proposed technology are presented. Based on the results of the paper, it is concluded that in this way it is possible to optimize the production of wires with profile section, which will significantly reduce the number of tools used, the complexity of the work performed and increase productivi-

ty. A comparative analysis of the current and proposed wire drawing technologies allows to conclude that the work performed opens up and shows the possibility of creating a universal technology with an infinite number of combinations that can reduce the amount of tools used and, accordingly, the material resources, labor, and time spent on the implementation of the technology, which means its relevance and practical value.

Keywords: drawing, wire, twist, core, cross section, wire, die.

Reference for citing:

Karasyov MI, Morgalenko TA. Technology optimization of wire drawing with non-standard section in manufacturing cable and wire products (using the example of Senilek wires. *Transport Engineering*. 2024;1:27-35. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-27-35.

Введение

Современное состояние кабельно-проводникового производства характеризуется большим количеством разновидностей выпускаемой продукции, а также применяемых технологий.

В основу разработок положена технология волочения проволоки нестандартного сечения проводов «СЕНИЛЕК» марок АТ1П/С, АТ3П/С (это неизолированные провода для воздушных линий электропередачи с рабочей температурой до 210 °С). В общих чертах технология справедлива также и для проводов «ТАСFR» и «НАСFR».

Провода подобного типа состоят из сердечника 1 и проволоки 2, скрученных поверх сердечника (рис. 1). При этом проволоки сердечника имеют круглое сечение, а скрученные поверх него проволоки имеют сечение трапециевидное. Таким образом, окружающие сердечник проволоки имеют форму трапеции со скруглёнными углами.

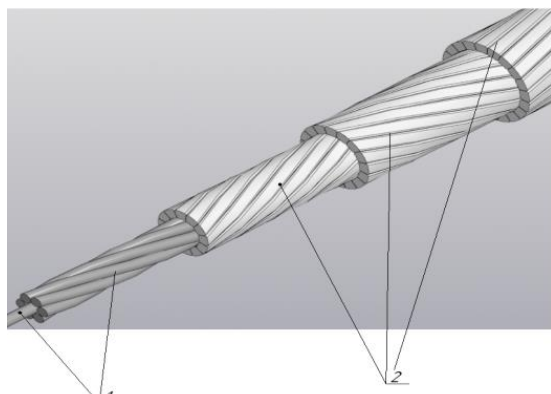


Рис. 1. Провод марки «СЕНИЛЕК»
Fig. 1. Wire brand "Senilek"

Для получения таких проволок, с трапециевидным сечением, применяется специальный инструмент, разработанный и изготовленный индивидуально, для каждого сечения проволок по-маршрутно, от катанки до готовой формы.

Недостаток применяемой при этом технологии очевиден. Он, в частности, состоит в том, что на каждый маршрут, состоящий из фильер для волочения проволоки того или иного сечения, требуется индивидуальное число применяемого инструмента. При этом, после изготовления требуемого объема проволоки для первого повива, необходимо снять заправленный инструмент и заменить его на инструмент, предназначенный для следующего повива проволоки. Данная процедура занимает у оператора оборудования для волочения проволоки значительное количество сил, внимания и времени, а также чревата ошибками.

С целью сокращения количества используемого при изготовлении проволоки инструмента и была разработана специальная методика, которая позволяет унифицировать маршрут волочения проволоки, а также повысить уровень автоматизации производства.

Для демонстрации этой методики, необходимо сначала по стандартной технологии разработать маршрут получения провода самого крупного сечения. В качестве примера возьмем провод марки АТ3П/С 500/64 по СТО 56947007-29.060.50.268-2019 [1, с. 58-59].

Конструкция провода определяется

технологом и согласуется с руководством и заказчиком.

Согласно [1], провод марки АТЗП/С 500/64 должен иметь следующие характеристики:

1. Конструкция данного провода должна состоять из стального сердечника и основной части, изготовленной из алюминиевого сплава ZTAL (для простоты будем называть основную часть провода «ZTAL-частью»).

2. Марка АТЗП/С 500/64 указывает на то, что суммарное сечение всех проволок ZTAL-части провода составляет 500 мм², суммарное сечение стального сердечника – 64 мм².

3. Конструкция стального сердечника должна состоять из 7 проволок – по схеме 1+6 (то есть одна проволока лежит в основании и 6 проволок скручены поверх нее).

4. Конструкция ZTAL-части состоит из трех повивов, состоящих из определенного количества проволок, указанного в СТО [1] или полученного по результатам

проведенного расчета, который будет соответствовать требованиям заказчика.

Для разработки конструкции сечения провода, а также сечения инструмента волочения проволок профильного сечения в исследовании была использована CAD-система «Компас 3D».

В связи с тем, что стальной сердечник состоит из 7 проволок, суммарное сечение которых составляет 64 мм², сечение одной проволоки будет составлять $64/7 \approx 9,14$ мм², соответственно диаметр такой проволоки равен 3,41 мм.

Конструкция стального сердечника имеет схему (6+1), то есть вокруг одной проволоки скручено еще 6 проволок того же диаметра. В итоге конструкция сердечника такова, что по бокам центральной проволоки сердечника расположено еще по одной проволоке. Соответственно диаметр сердечника составляет $3,41 \times 3 = 10,23$ мм и имеет вид, изображенный ниже (рис. 2).

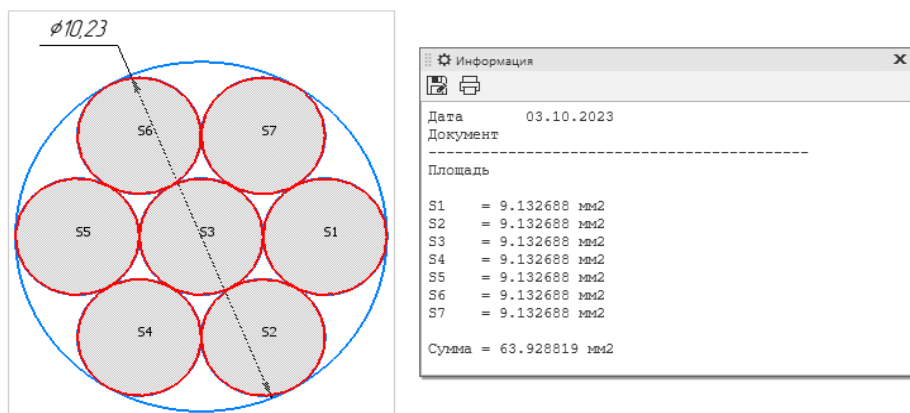


Рис. 2. Конструкция сердечника

Fig. 2. Core design

Стоит отметить, что диаметр проволоки следует принимать в сторону увеличения, так как при скрутке сердечника происходят уплотнение и деформация проволок; то же самое происходит при скрутке поверх него ZTAL-части. В итоге диаметр стального сердечника, в нашем случае, изменяется до $10,24 (\pm 0,02)$ мм.

Далее необходимо рассчитать наружный диаметр провода. Известно суммарное сечение стального сердечника и ZTAL-части ($500 + 64 = 564$ мм²). Наруж-

ный диаметр провода в этом случае равен 26,8 мм.

Так как ZTAL-часть состоит из трех повивов, необходимо разделить ее на три равные по высоте проволоки части. Таким образом можно узнать не только промежуточные диаметры повивов, но и высоты их проволок ($((26,8 - 10,24) / 2) / 3 = 2,76$ мм (рис. 3)).

Конструкция ZTAL-части провода, согласно [1], имеет вид (12 + 16 + 20). В данном случае это означает, что первый

повив состоит из 12 проволок, второй – из 16, а третий – из 20.

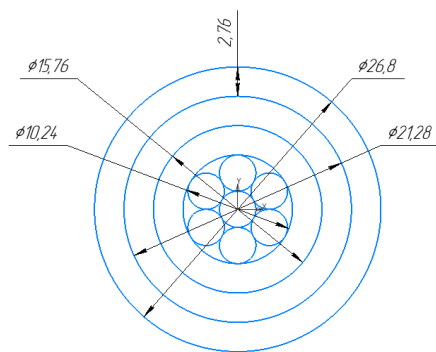


Рис. 3. ZTAL-часть
Fig. 3. ZTAL-part

Соответственно необходимо разделить видимое в разрезе кольцо, образуемое сечениями проволок первого повива, на 12 равных частей. Наглядно это продемонстрировано ниже (рис. 4).

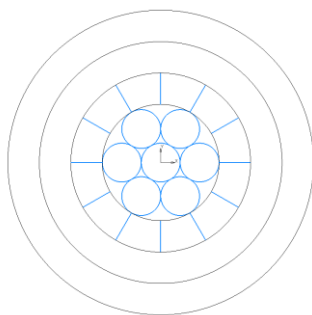


Рис. 4. Сечения проволок первого повива
Fig. 4. Cross-sections of wires of the first layer

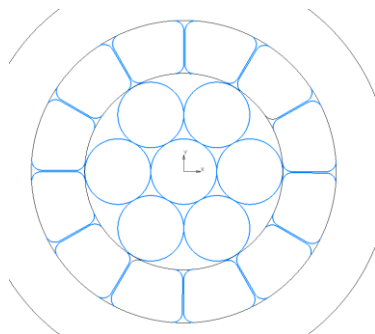


Рис. 6. Скругление проволок
Fig. 6. Wire rounding

После проработки конструкции провода необходимо выполнить проверку соответствия сечения провода требованиям СТО 56947007-29.060.50.268-2019 (рис. 7).

Проверка показала, что суммарная площадь сечения ZTAL-части менее 500 мм^2 ($\approx 461,88 \text{ мм}^2$). Производим коррекцию результата, увеличивая диаметр

Вместе с тем, необходимо учитывать, что после операции волочения осуществляется операция скрутки. Следует учитывать, что между проволоками необходимо наличие зазора, который бы обеспечивал скрутку проволок между собой. Для получения данного зазора нужно угол луча, разделяющего проволоки, умножить на рекомендуемый коэффициент 0,98 [3, с. 8.] (рис. 5).

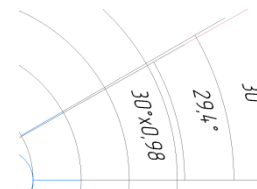
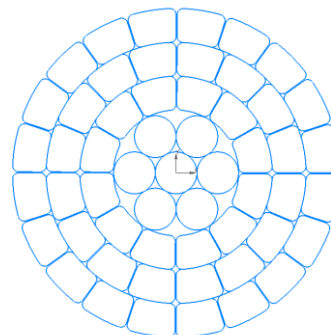


Рис. 5. Получение зазора для скрутки проволок
Fig. 5. Obtaining clearance for twisting wires

Функцией кругового массива согласно, конструкции первого повива, создаем копии вдоль окружности.

Так между проволоками образовался зазор, который в дальнейшем обеспечит нам скрутку проволок. Согласно [1], все углы проволок должны иметь радиус $0,5 \text{ мм}$. Следовательно, необходимо применить команду «Скругление» в системе «Компас-3D» (рис. 6). Аналогичным образом строятся два оставшихся повива.



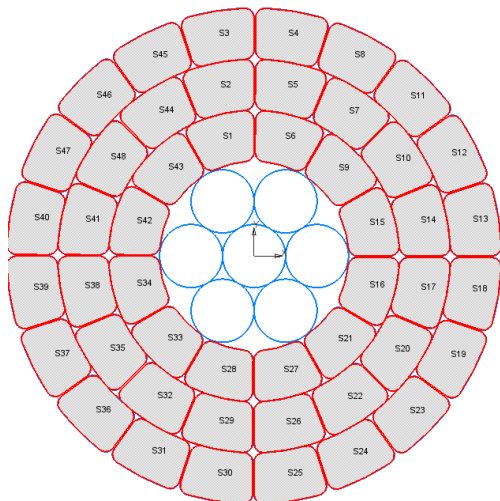
провода и промежуточных повивов. При этом используем отношения площадей к диаметрам и с диаметром 28 мм получаем сечение $512,5 \text{ мм}^2$. Допускается использовать сечение/диаметр меньших размеров. В подобных случаях необходимо на сотые доли миллиметров подгонять диаметр вручную и рассчитывать получающееся в

итоге сечение.

После того, как мы разработали конструкцию провода, можно приступать к самой важной части – разработке маршрута волочения профильных проволок.

Для этого необходимо в центре диа-

метра расположить сечение проволоки первого повива и разделить его, например, на 24 сектора [2, с. 280]. Угол между двумя любыми ближайшими лучами составит $360^\circ/24=15^\circ$ (рис. 8).



Информация	
S37	= 9.999978 мм2
S38	= 9.622346 мм2
S39	= 9.999978 мм2
S40	= 9.999978 мм2
S41	= 9.622346 мм2
S42	= 8.993404 мм2
S43	= 8.993404 мм2
S44	= 9.622346 мм2
S45	= 9.999978 мм2
S46	= 9.999978 мм2
S47	= 9.999978 мм2
S48	= 9.622346 мм2
Сумма = 461.877932 мм2	

Рис. 7. Выполнение проверки

Fig. 7. Performing a check

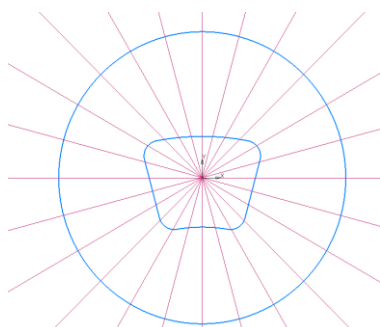


Рис. 8. Сечение проволоки первого повива

Fig. 8. First layer wire section

В документе Excel создаем две таблицы, отвечающие за расчет формирования маршрута инструментов. В табл. 1 размещаем: для каждого луча значения длин отрезков от диаметра катанки до готовой проволоки (L_i), мм; расчетные значения коэффициента вытяжки (K_i); длины переходов луча от начального до последующего инструмента (l/K_i), мм. Полученные значения будут являться длинами отрезков между сечениями инструмента.

В табл. 2 размещаем сечение инструмента (F_i), мм². Для нахождения каждого последующего сечения инструмента необходимо предыдущее сечение разделить на коэффициент вытяжки (μ), среднее значение которого равно от 1,3 до 1,33. Подби-

раем сечения и вытяжки маршрута, которые соответствуют рекомендуемым требованиям.

При переходе от круглого сечения к профильному рекомендуется использовать вытяжку менее 30 %, но не менее 25 %, то есть необходимо рассчитать сечение инструмента так, чтобы вытяжка была в диапазоне от 1,3 до 1,25. При необходимости можно использовать различный диапазон, но не выше предельного значения (40...45 %). В основном волочение профильных проволок происходит именно так.

До середины маршрута давление на проволоку может возрастать или оставаться постоянным. После преодоления середины маршрута давление, оказываемое на проволоку, идет на убывание. Последняя вытяжка должна иметь коэффициент вытяжки в диапазоне 1,15...1,25 (крайние значения 1,26...1,27, рекомендуемые значения 1,17...1,19). Если коэффициент вытяжки минимален, то проволока на выходе получается в масле. Если коэффициент вытяжки увеличен, то может произойти обрыв проволоки.

Таблица 1

Определение длин отрезков между сечениями инструмента

Table 1

Determination of offcut length between tool sections

№ луча	L_i , мм	l/K_i							
		(0-1)	(1-2)	(2-3)	(3-4)	(4-5)	(5-6)	(6-7)	(7-8)
		K_i							
		0,1678	0,1746	0,1533	0,13808	0,1206	0,1054	0,0895	0,0504
1	3,28	0,55	0,57	0,50	0,45	0,39	0,35	0,29	0,17
2	3,23	0,54	0,56	0,50	0,45	0,39	0,34	0,29	0,16
3	3,10	0,52	0,54	0,47	0,43	0,37	0,33	0,28	0,16
4	2,83	0,47	0,49	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,14
5	2,59	0,44	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27	0,23	0,13
6	2,83	0,47	0,49	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,14
7	3,03	0,51	0,53	0,46	0,42	0,36	0,32	0,27	0,15
8	3,08	0,52	0,54	0,47	0,43	0,37	0,32	0,28	0,16
9	3,02	0,51	0,53	0,46	0,42	0,36	0,32	0,27	0,15
10	2,85	0,48	0,50	0,44	0,39	0,34	0,30	0,26	0,14
11	2,96	0,50	0,52	0,45	0,41	0,36	0,31	0,26	0,15
12	3,21	0,54	0,56	0,49	0,44	0,39	0,34	0,29	0,16
13	3,28	0,55	0,57	0,5	0,45	0,39	0,35	0,29	0,17
14	3,21	0,54	0,56	0,49	0,44	0,39	0,34	0,29	0,16
15	2,96	0,50	0,52	0,45	0,41	0,36	0,31	0,26	0,15
16	2,85	0,48	0,50	0,44	0,39	0,34	0,30	0,26	0,14
17	3,02	0,51	0,53	0,46	0,42	0,36	0,32	0,27	0,15
18	3,08	0,52	0,54	0,47	0,43	0,37	0,32	0,28	0,16
19	3,03	0,51	0,53	0,46	0,42	0,36	0,32	0,27	0,15
20	2,83	0,47	0,49	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,14
21	2,59	0,44	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27	0,23	0,13
22	2,83	0,47	0,49	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,14
23	3,10	0,52	0,54	0,47	0,43	0,37	0,33	0,28	0,16
24	3,23	0,54	0,56	0,50	0,45	0,39	0,34	0,29	0,16

Таблица 2

Расчет формирования маршрута инструментов

Table 2

Calculation of forming tool routes

F_i		70,88	54,52	41,94	32,26	24,82	19,09	14,68	11,30	9,74
$\mu_{общ}$	7,277	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,16	
$\mu_{ср}$	1,246									

Рассчитав значения коэффициентов K_i , находим длины межинструментальных отрезков. Теперь вдоль лучей необходимо прорисовать соответствующие им длины и затем соединить концы командой «Сплайн» по точкам. Далее по убыванию

от катанки к проволоке, прорисовываем инструмент (более точно может получиться маршрут от проволоки к катанке, при этом нужно быть уверенным в наличии круглых фильер при подборе, или адаптивно подгонять маршрут) (рис. 9).

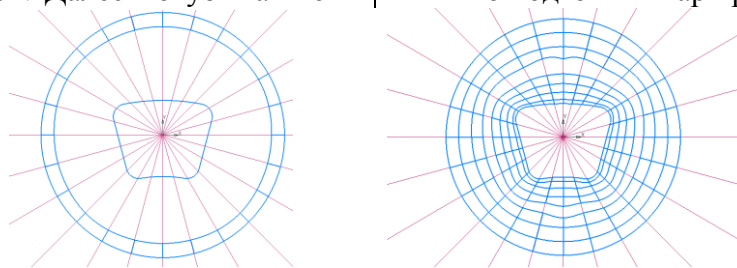


Рис. 9. Прорисовывание инструмента
Fig. 9. Drawing a tool

Первый диаметр-катанка, 2-4 можно отнести к круглым инструментам, последующие будут профильным маршрутом, который может быть доработан, для чего инструмент разделяется на элементы – на прямые и дугу. Прямые удобнее строить лучами, соединяя крайние точки начала уже полученных дуг. Дуги соединяются соответствующей командой по трем точкам.

После соединения дуг определяются их радиусы для дальнейшего скругления (между отрезками и верхним гребешком). Таким образом получаем сечения всего остального маршрута, а также создаем маршруты других повивов провода (рис. 10).

Сечение фильер повивов 1, 2 и 3 представлен ниже (рис. 11).

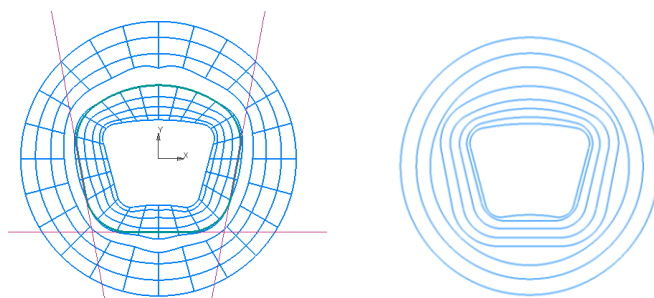


Рис. 10. Маршруты повивов
Fig. 10. Midwife routes

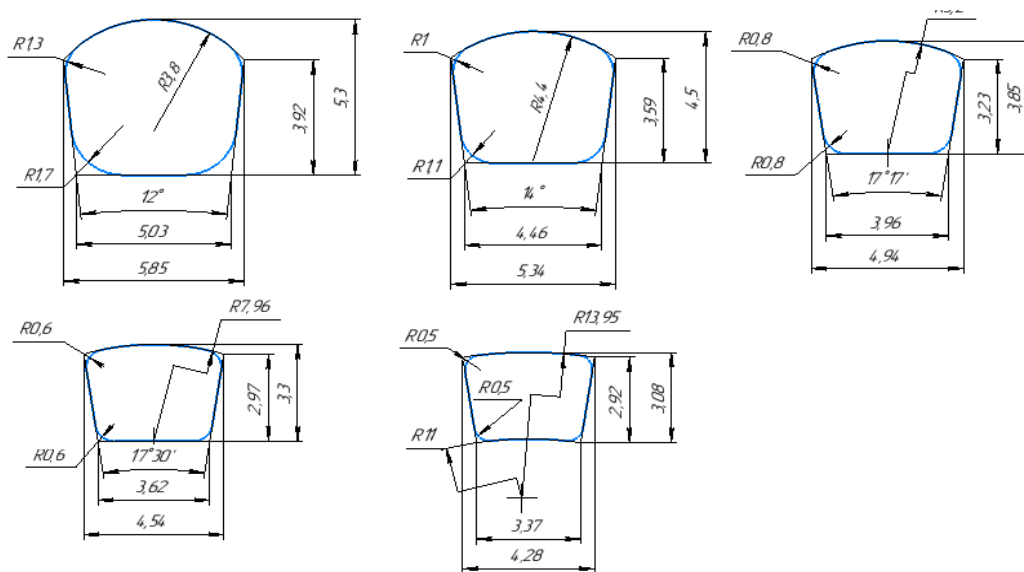


Рис. 11. Сечения фильер на 1, 2, и 3 повивы
Fig. 11. Cross-sections of dies for layers 1, 2 and 3

Примечательно, что при методическом расчете, первый инструмент каждого повива не только похож друг на друга формой и габаритами, но и максимально приближен к круглой фильере, которая является стандартом при волочении проволок круглого сечения. Если заменить три первых инструмента на один круглый, то получаем определенный экономический эффект при переустановке маршрутов.

Далее следует обратить внимание на

то, что каждая вторая фильера для всех трех повивов также похожа друг на друга с одной лишь разницей: они отдалены от формы круга и поэтому после первой (круглой замененной) накладываем третью от каждого маршрута так, чтобы вытяжки между 1-2 и 2-3 были в диапазоне 30...33 % и зазор между стенками был приблизительно равен, относительно каждой стороны или дуги фильер (рис. 12).

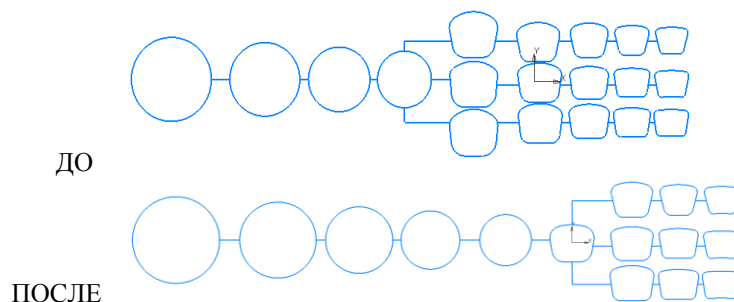


Рис. 12. Изменение маршрута
Fig. 12. Change of route

Заметно, что после сокращения маршрута, количество применяемого специального инструмента сократилось на треть. При этом на качество проволоки и самого процесса волочения это никак не повлияло.

Для создания универсального маршрута следует использовать сечение предлагаемого универсального инструмента в начале маршрута, в качестве заготовки, а именно катанки. Примечательно, что наиболее стабильные маршруты образуются от наружного повива. Так как угол про-

волоки у него самый минимальный, он обеспечивает необходимый зазор для других повивов с большим углом. Перерасчеты рекомендуется вести от готового изделия к заготовке и наоборот, с целью достижения максимально равномерной вытяжки для каждой проволоки.

Таким образом, методом подгона (масштабирования, приравнивания) сечения фильер был выстроен универсальный маршрут, который может послужит и для волочения проволок проводов других сечений (рис. 13).

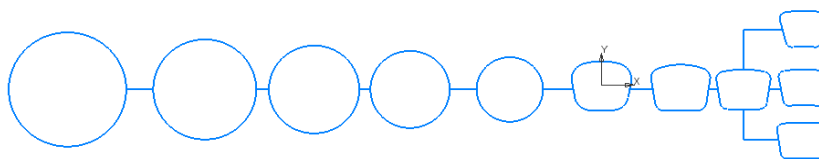


Рис. 13. Универсальный маршрут для волочения проволок проводов разных сечений
Fig. 13. Universal route for wire drawing of wires of different sections

В зависимости от контура, а именно высоты, ширины и угла профиля, можно скорректировать маршрут, способный к волочению проволок проводов нескольких форм сечений. Для такого случая возможно добавление дополнительного промежуточного предвыходного инструмента. Если сечение провода будет меньше того, что был взят за основу, изменится соответствующий выходной инструмент для формирования готовой проволоки, и так далее до самого минимального провода. Но есть и исключения, от количества проволок в повиве зависит угол и форма проволоки. В данном случае подобные проволоки по форме приближены к квадрату или к окружности. Существуют типы геометрии прямоугольной формы как в ширину, так и в высоту. Существуют формообразования

с углами более высокого градуса, в результате чего их форма напоминает форму усеченного треугольника.

Существенное значение для формирования сечения имеет угол профиля. Так минимальный градус профиля имеет преимущества перед максимальным, поскольку оставляет больше зазора между профилями, и если вытяжка оказывается пусть даже в предельном значении, но в пределах допуска – уменьшается вероятность обрыва. Это связано с тем, что количество материала, снимаемого вокруг всей поверхности, достаточно, и нагрузка на проволоку становится равномерной. В рассмотренном случае самый минимальный угол третьего повива выходной фильеры равен $17,64^\circ$. Это самый минимальный угол во всем СТО [1], для обеспечения

нормальной вытяжки на предвыходной инструмент можно взять угол 17°. Он является оптимальным для прочих повивов проволок.

Проделанная работа показывает возможность создавать бесконечное множество комбинаций, способных сократить количество применяемого инструмента и, соответственно, затрачиваемых на него

материальных средств, рабочей силы и времени на реализацию технологического маршрута.

Таким образом можно оптимизировать производство проводов с проволокой профильного сечения, что значительно сократит количество используемого инструмента, трудоёмкость выполняемых работ и повысит производительность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 56947007-29.060.50.268-2019. Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с неизолированными проводами нового поколения. Стандарт организации. ПАО «ФСК ЕЭС», 2019. Режим доступа: http://www.tempfsk.host.ru/upload/docs/STO_56947007-29.060.50.268-2019.pdf.

2. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
3. Тимашова Л.В. Современные конструкции проводов ВЛ / Л.В. Тимашова, И.А. Назаров, А.С. Мерзляков // Энергия единой сети. 2013. № 2(7). С. 4-13.

REFERENCES

1. STO 56947007-29.060.50.268-2019. Guidelines for the design of 220 kV overhead power lines and above with new generation non-insulated wires. Organization standard. FSK UES; 2019. Available from: http://www.tempfsk.host.ru/upload/docs/STO_56947007-29.060.50.268-2019.pdf.

2. Perlin IL, Ermanok MZ. Theory of drawing. Moscow: Metallurgiya; 1971.
3. Timashova LV, Nazarov IA, Merzlyakov AS. Modern designs of overhead power line. Energiya Edinoi Seti. 2013;2(7):4-13.

Информация об авторах:

Карасёв Мирослав Игоревич – магистрант, ведущий инженер-технолог, тел. +7(910)599-12-53.

Моргаленко Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, тел. +7(905)054-55-10.

Karasyov Miroslav Igorevich – Master's Degree Student, Leading Processing Engineer; phone: +7(910)599-12-53.

Morgalenko Tatyana Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University; phone: +7(905)054-55-10.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 14.12.2023; одобрена после рецензирования 15.12.2023; принята к публикации 27.12.2023. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 14.12.2023; approved after review on 15.12.2023; accepted for publication on 27.12.2023. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.