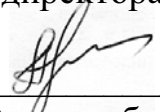


УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УР


_____ А.В. Лукутин
«10» октября 2007 г.

В.М. Анিকেенко, С.С. Марьин, О.А. Анисимова

Основы кабельной техники

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Основы кабельной техники» для студентов IV курса,
обучающихся по направлению
140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 621.315(076.5)

ББК 31.232.3я73

А67

Аникеенко В.М.

А67 Основы кабельной техники: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Основы кабельной техники» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В.М. Аникеенко, С.С. Марьин, О.А. Анисимова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 59 с.

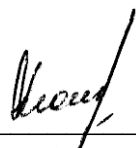
ISBN 5-98298-222-9

УДК 621.315(076.5)

ББК 31.232.3я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
электроизоляционной и кабельной техники ЭЛТИ
« 10 » октября 2007 г.

Зав. кафедрой ЭИКТ
кандидат технических наук


А.П. Леонов

Председатель учебно-методической
комиссии


А.В. Петров

Рецензент

Зам. ген. директора ОАО «НИКИ» г. Томска
С.А. Окунев

ISBN 5-98298-222-9

© Аникеенко В.М., Марьин С.С.,
Анисимова О.А., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

Предисловие

Методические указания к лабораторным работам «Основы кабельной техники» написаны в рамках инновационной магистерской образовательной программы и содержат описание лабораторных работ по основным разделам курса «Основы кабельной техники».

Лабораторные работы позволяют более глубоко изучить основные разделы этого курса, изучить конструкции технологического оборудования и их узлов, технологического инструмента, параметров технологических режимов и их влияние на качество изделий.

Описание каждой лабораторной работы включает в себя теоретическую часть, цель работы, задачи работы, задание, порядок выполнения работы, методику обработки экспериментальных данных, вопросы самоконтроля и список литературы. Приводятся требования к оформлению отчета по лабораторной работе.

Авторы выражают благодарность рецензенту и научному редактору за ценные замечания и предложения, направленные на улучшение качества данной работы.

Лабораторная работа № 1

ОТЖИГ

1. Цель работы

Изучить влияние режима отжига на электрические и механические свойства деформированной медной и алюминиевой проволоки.

2. Теоретическая часть

Процесс пластической деформации вызывает в металле сложные изменения структуры, механических и физических свойств: увеличивается механическая прочность, твердость и снижается пластичность металла, возрастает удельное электрическое сопротивление, модуль упругости и изменяется температурный коэффициент расширения [1].

Повышение механической прочности (наклеп) особенно интенсивно происходит при деформациях до 25 %, при дальнейшем возрастании деформации (обжатия) упрочнение изменяется незначительно [2].

В упрочнении металлов большую роль играют препятствия для перемещения дислокаций, с ростом препятствий упрочнение усиливается. Уменьшение размеров зерен и увеличение углов разориентировки между ними способствуют скоплению дислокаций на границах зерен и затрудняет зарождение новых дислокаций. В связи с этим для продолжения деформации необходимо более высокое внешнее усилие, чтобы скольжение началось в других менее благоприятно расположенных кристаллах.

При волочении форма кристаллов (зерен) изменяется в направлении волочения, зерна вытягиваются в волокна, обладают анизотропией механических свойств. Одновременно с изменением формы зерен изменяется ориентировка решетки кристалла. Большинство зерен своими кристаллографическими элементами располагается одинаково в направлении усилия, т. е. появляется текстура деформации.

Текстура проявляется при деформации в 50 % и усиливается с увеличением деформации. Тип текстуры в основном определяется, в первую очередь, типом решетки металла и схемой деформации. Текстура металлов, у которых большая часть зерен имеет одинаковую ориентировку, придает металлу свойства, близкие по свойствам монокристаллу (кристаллическая анизотропия) [2]. Необходимо различать кристаллическую анизотропию, обусловленную текстурой, от механической анизотропии, обусловленной формой зерен и волокнистостью строения. Анизотропия свойств металла может быть обусловлена механической или кристаллической анизотропией, или их совместным действием. При

относительно малых деформациях преобладает механическая анизотропия, при высоких – оба вида. Механическая анизотропия может исчезать при рекристаллизации, кристаллическая – обычно остается.

В результате волочения может изменяться плотность металла, повышаться электрическое сопротивление (меди – до 2 %, никеля – 8 %, молибдена – 18 %).

Полученная после волочения проволока называется твердой и обозначается: МТ (медная твердая) и АТ (алюминиевая твердая). Она находит ограниченное применение в кабельных изделиях. В основном в изделиях применяют проволоку с высокими пластическими свойствами.

Металл после волочения находится в термодинамически неравновесном состоянии, обладает повышенной свободной энергией. Этот переход сопровождается устранением наклепа, изменением структуры и свойств, и зависит от степени деформации и температуры.

Неоднородность напряженного состояния и неравномерность распределения энергии, созданные пластической деформацией, могут быть устранены образованием новых, менее искаженных зерен и соединением зерен в одно зерно, обладающее меньшей поверхностью на единицу объема. Для протекания этих процессов необходима повышенная температура.

При нагревании до невысоких температур ($\approx 0,3 T_{пл}$, $T_{пл}$ – температура плавления металла в К) в металле протекает процесс отжига, в течение которого наблюдается частичное разупрочнение металла (снижаются характеристики прочности и повышается пластичность), но структура и текстура не изменяются. При повышении температуры начинается рекристаллизация, при которой происходит значительное изменение всех свойств деформированного металла. Поскольку при высокой температуре облегчается движение атомов, то дислокации могут переползать из плоскостей скольжения или исчезать в результате рекомбинации, при которой аннигилируют положительные и отрицательные дислокации. Таким образом, уменьшается число нарушений структуры кристаллов. Температура начала рекристаллизации зависит от степени предшествовавшей деформации: чем больше степень деформации, тем больше искажение строения, легче и при более низких температурах протекает рекристаллизация. Поскольку устранение дислокаций и рекристаллизация сопряжены с перемещением атомов, зависящим от энергии активации, наличие связи между температурой рекристаллизации и температурой плавления (рис. 1) представляется вполне закономерным.

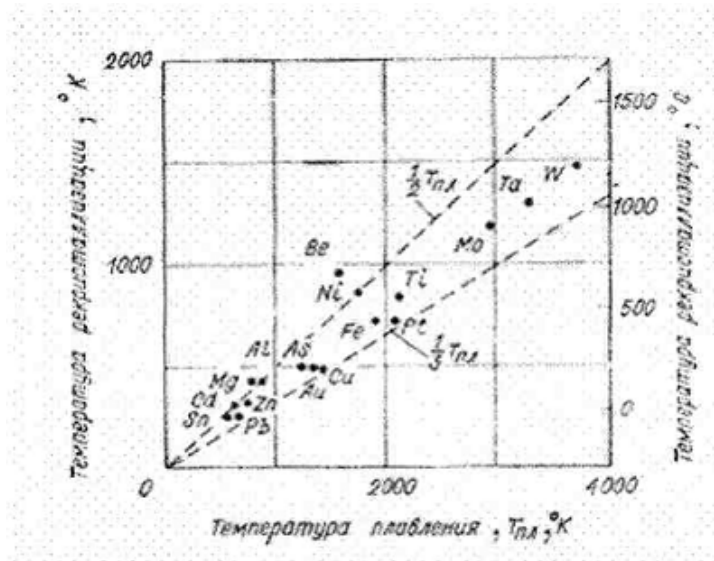


Рис. 1. Зависимость температуры рекристаллизации от температуры плавления

Считают [3], что начало рекристаллизации для сильнодеформированных металлов составляет примерно 0,4 $T_{пл}$ (для меди $T_{пл} = 1356$ К, алюминия $T_{пл} = 933$ К, латуни $T_{пл} = 1173$ К, серебра $T_{пл} = 1233$ К). При рекристаллизации наблюдается полное восстановление пластических свойств (разупрочнение) металла. Теорией дислокации разупрочнение металла при рекристаллизации объясняется устранением несовершенств кристаллической решетки, вызванных холодной деформацией. В металле изменяется структура, т. е. зарождаются новые зерна, волокнистое строение и механическая анизотропия исчезают. Новые равноосные зерна отличаются от старых вытянутых зерен более совершенным, менее искаженным внутренним строением.

Различают два вида рекристаллизации: I – первичную; II – собирательную [3].



Рис. 2. Структура, характерная для конца первичной рекристаллизации

При первичной рекристаллизации зарождаются и начинают расти новые зерна за счет старых. Во время собирательной рекристаллизации происходит рост одних новых зерен за счет поглощения других новых. Размеры зерен при рекристаллизации определяются рядом причин: прежде всего температурой, степенью деформации, временем рекристаллизации.

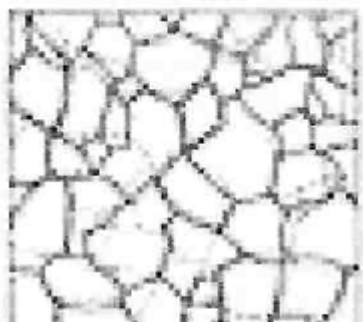


Рис. 3. Структура после собирательной рекристаллизации

Чем выше температура и больше длительность отжига, тем крупнее зерна за счет собирательной рекристаллизации. Большое влияние на величину зерен в рекристаллизованном металле оказывает степень деформации. С повышением степени деформации растут искажения решетки, благодаря этому растет скорость зарождения центров кристаллизации и линейная скорость роста зерен.

Влияние степени деформации (δ) на размеры зерен при рекристаллизации (отжиге) для меди, алюминия, стали можно представить в виде сложной зависимости (рис. 1).

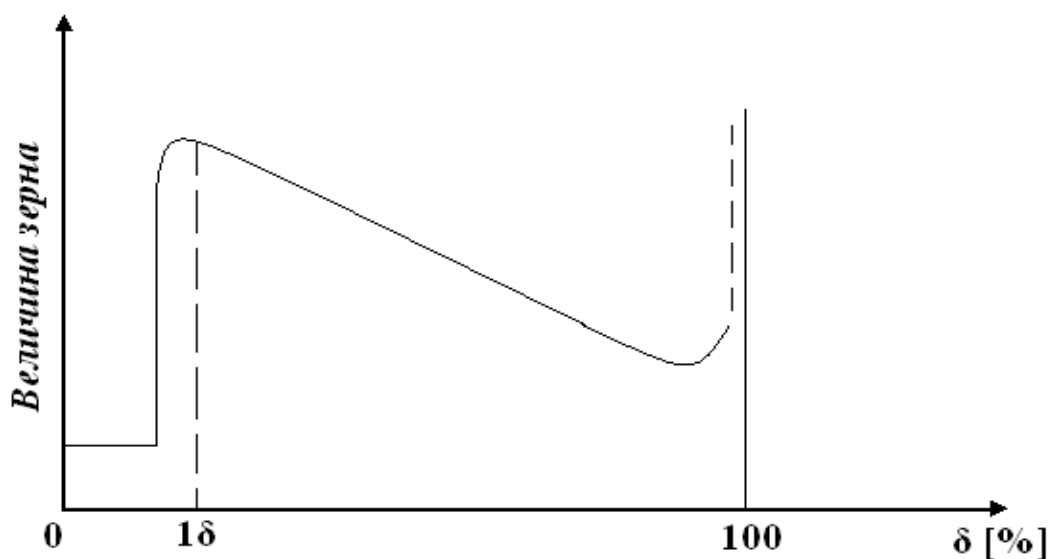


Рис. 4

При малых δ (5–10 %) искажения решетки малы, границы между зернами не нарушаются, рекристаллизации нет и структура мелкозернистая. При средней δ (до 15 %) зерна при отжиге будут наиболее крупными.

Вторая область крупных кристаллов наблюдается при больших деформациях (более 65–75 %) и при высоких температурах рекристаллизации. В этом случае вероятно облегчается слияние одинаково ориентированных зерен.

Таким образом, путем изменения режима рекристаллизации (отжига) и степени деформации можно получить структуру металла с различной величиной зерна. Как правило, мелкокристаллическая структура металла обеспечивает повышенную пластичность металла.

3. Экспериментальная часть

Работа проводится с использованием муфельной печи и разрывной машины.

Муфельная печь обеспечивает температуру нагрева до 650 °С. Для работы подготавливаются образцы медной и алюминиевой проволоки с различной степенью деформации (5–90 %).

Размеры образца определяются с помощью микрометра и линейки.

4. Порядок работы

1. Образцы проволоки с определенной степенью деформации сгруппировать по 10–20 шт.
2. Поместить образцы в муфельную печь и нагреть ее до заданной температуры ($t_{от}$).
3. Провести отжиг в течение времени $\tau_{от}$.
4. После охлаждения образцов на разрывной машине определить для каждой группы проволоки предел прочности (σ_p) и относительное удлинение ($\lambda = \Delta l/l$).
5. Обработать результаты измерений σ_p и $\lambda = \Delta l/l$ и полученные данные свести в табл. 1.

№ п/п	Степень деформации δ , %	Кол-во образцов	Время отжига	Температура отжига $t_{от}$, °С	Механическая прочность		Удлинение	
					σ_p , кгс/мм ²	S_p	$\Delta l/l$	S_l

Примечания: σ_p – среднее значение вариационного ряда;

S_p – основное отклонение вариационного ряда для σ_p ;

$\Delta l/l$ – среднее значение вариационного ряда;

S_l – основное отклонение вариационного ряда для $\Delta l/l$.

6. Построить по указанию преподавателя зависимости σ_p , $\Delta l/l$:
 - 1) $\sigma_p = f(\delta)$; $\Delta l/l = f(\delta)$ при $t_{от} = \text{const}$, $\tau_{от} = \text{const}$;
 - 2) $\sigma_p = f(t_{от})$; $\Delta l/l = f(t_{от})$ при $\delta = \text{const}$, $\tau_{от} = \text{const}$;
 - 3) $\sigma_p = f(\tau_{от})$; $\Delta l/l = f(\tau_{от})$ при $\delta = \text{const}$, $t_{от} = \text{const}$.
7. Дать физическое объяснение результатов работы.

5. Список литературы

1. Перлин И.Л., Ерманок М.В. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971.
2. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1967.
3. Бернштейн. Структура деформированных металлов. – М.: Металлургия, 1976.
4. Сергеев Г.И. Термическая обработка и волочение стали с применением токов ВЧ. – М.: Металлургия, 1971.

Лабораторная работа № 2

СКРУТКА ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

1. Цель работы

Изучение конструкций крутильных машин, методики расчета и реализации режима скрутки токопроводящих жил на крутильных машинах.

2. Теоретическая часть

Разнообразные условия прокладки и эксплуатации требуют от кабельных изделий определенной гибкости. Гибкость кабельного изделия определяется материалами, конструктивным и технологическим исполнением всех его элементов, и в том числе жилы (ТПЖ). Для придания жилам необходимой гибкости, она скручивается из некоторого количества проволок.

Если гибкость жилы символически обозначить буквой «Г», то

$$\Gamma = f(z \cdot \Phi_{\text{ж}} / n \cdot d \cdot h), \quad (1)$$

где z – количество проволок в жиле; n – количество повивов; d – диаметр проволоки; h – шаг скрутки; $\Phi_{\text{ж}}$ – форма жилы.

Из выражения (1) видно, что гибкость жилы при заданном номинальном сечении возрастает с увеличением количества проволок, при одновременном уменьшении их диаметра, шага скрутки и количества повивов. Гибкость связана и с формой жилы. Если при круглой форме жилы гибкость одинакова во всех плоскостях сечения, то в секторных или сегментных жилах гибкость в различных плоскостях различна.

Согласно стандартам на ТПЖ по величине гибкости они делятся на 6 классов: жилы I–III классов применяются в кабелях стационарной прокладки, причем жилы III класса – для неподвижной прокладки с малыми радиусами изгиба, IV–VI классов – в гибких кабелях для подсоединения к подвижным токоприемникам. Конструкция и форма жил каждого класса регламентируется государственным стандартом, ТУ и другой технической документацией на кабельные изделия.

Жилы I–II классов выполняются одно- и многопроволочными, круглой, секторной, а для некоторых изделий и сегментной формы, жилы III–VI классов – многопроволочными круглой формы.

Различают два вида скрутки:

- 1) концентрическую (повивную) простую и сложную;
- 2) пучковую.

Концентрическая простая скрутка применяется при изготовлении жил кабеля для стационарной прокладки. Жила формируется из прово-

лок одного или разного диаметра, которые располагаются по концентрическим повивам. При сложной скрутке жила формируется из стренг и применяется для скрутки жил гибких кабелей (IV–VI классов).

Пучковая скрутка используется при формировании стренг или жил малого сечения. При этом виде скрутки все проволоки пучком скручиваются в одном направлении с одним шагом.

Повивная скрутка может осуществляться двумя способами:

- а) с откруткой;
- б) без открутки.

Проволоки в жиле располагаются по винтовым линиям с определенным шагом (h).

Шаг скрутки – расстояние вдоль оси жилы, на котором проволока делает один виток (оборот) вокруг сердечника.

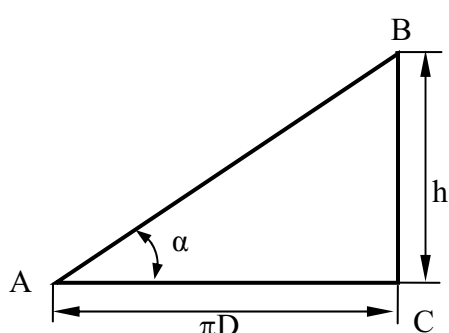


Рис. 1. Развертка на плоскости витка проволоки

Величина шага скрутки влияет не только на гибкость, но и на механическую устойчивость жилы к различным нагрузкам (растягивающим, изгибающим, крутящим и т. д.). Чем больше шаг, тем меньше, в механическом отношении, устойчивость жилы. Если развернуть виток проволоки (L_B) на плоскость (рис. 1), то из ΔABC шаг скрутки можно выразить в виде соотношения:

$$h = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где D – диаметр по центрам проволок; α – угол подъема проволок в повиве (угол скрутки).

На практике, для упрощения расчетов шага, за D принимается величина диаметра повива, а расчетный шаг (h_p) выражается кратным диаметру повива, т. е.

$$h_p = m \cdot D,$$

где m – кратность скрутки.

Величина кратности скрутки m регламентируется стандартом в соответствии с классом гибкости жилы (табл. 1).

С точки зрения устойчивости жил к различным механическим нагрузкам большое значение имеет направление скрутки проволок в повивах или стренгах, стренг в жиле.

В жилах кабелей для неподвижной прокладки (I–III кл.) скрутка повивов проводится в противоположных направлениях. В этом случае по-

вышается стойкость жил к растягивающим или изгибающим нагрузкам и стабильность радиальных размеров.

Таблица 1

Класс гибкости	Кратность скрутки жил Значение m		
	Внутренний повив	Наружный повив	Стренга
скрутка в противоположные стороны			
1–2	35	18	–
3–4	25	16	30
скрутка в одну сторону			
4	14	16	20
5	12	14	20
6	12	14	16

В жилах кабелей нестационарной прокладки стренги и повивы целесообразно скручивать в одну сторону. В этом случае уменьшается внутрижильный сдвиг и величина вторичной деформации, повышается устойчивость жил к циклическим, т. е. знакопеременным и крутящим нагрузкам.

Круглые жилы (прежде всего IV–VI классов) в зависимости от количества проволок (стренг) в центре имеют 5 форм скрутки. Форма определяет конструкцию, радиальные размеры и коэффициент заполнения жилы. Расчет количества проволок (стренг) в повивах и в жиле, расчет диаметра повива можно провести, используя данные табл. 2.

Таблица 2

Форма скрутки	Количество проволок (стренг) в жиле	Диаметр повива	Коэффициент заполнения жилы, мм	Количество проволок в повиве / суммарное количество проволок в повивах
1	$3n(n-1)+1$	$(2n-1)d$	0,75–0,79	$\frac{1+6+12+18+24+30+7}{19 \ 37 \ 61 \ 91}$
2	$3n^2 - n$	$2nd$	0,62–0,72	$\frac{2+8+14+20+26+32+10}{24 \ 44 \ 70 \ 102}$
3	$3n^2$	$(2n+0,15)d$	0,69–0,74	$\frac{3+9+15+21+27+12}{27 \ 48 \ 75}$
4	$(3n+1)n$	$(2n+0,414)d$	0,69–0,75	$\frac{4+10+16+22+28+14}{30 \ 52 \ 80}$
5	$(3n+2)n$	$(2n+0,7)d$	0,73–0,75	$\frac{5+11+17+23+29+16}{33 \ 56 \ 85}$

Примечание: n – количество повивов в жиле (элемент в центре жилы принимается за первый повив); d – диаметр проволоки (стренги).

В графе 4 коэффициент заполнения приведен для жил простой скрутки и определяется как

$$\xi_3 = S_n / S_{ж}, \quad (3)$$

где S_n – номинальное сечение жилы, мм²; $S_{ж}$ – площадь поперечного сечения многопроволочной круглой жилы, мм².

$$S_n = z_{пр} \pi d_{пр}^2 / 4, \quad (4)$$

$$S_{ж} = \pi D_{ж}^2 / 4, \quad (5)$$

где $d_{пр}$, $D_{ж}$ – диаметры, соответственно, проволоки и жилы, мм; $z_{пр}$ – количество проволок в жиле.

Для ТПЖ простой скрутки коэффициент заполнения

$$\xi_3 = z_{пр} d_{пр}^2 / D_{ж}^2. \quad (6)$$

Для круглых жил сложной скрутки

$$\xi_3 = z_{пр} \left(d_{пр}^2 / D_c^2 \right) z_c (D_c^2 / D_{ж}^2) = z_{пр} z_c (d_{пр}^2 / D_{ж}^2) = z d_{пр}^2 / D_{ж}^2, \quad (7)$$

где $z_{пр}$ – количество проволок в стренге; z_c – количество стренг в жиле; z – общее количество проволок в жиле; D_c – диаметр стренги.

Радиальные размеры жил, стренг пучковой скрутки в связи с произвольным расположением проволок в объеме жил можно определить приближенно, используя эмпирическое выражение (8) или соотношения табл. 3.

$$d_{ж} = 1,15 d_{пр} \sqrt{z}, \quad (8)$$

где $d_{пр}$ – диаметр проволоки, мм; z – количество проволок в жиле.

Скрутка ТПЖ осуществляется на крутильных машинах: клетьевых, дисковых, сигарных и рамочных. На клетьевых, дисковых и сигарных машинах обеспечивается концентрическая однократная односторонняя скрутка, на рамочных – односторонняя пучковая, преимущественно двойная скрутка.

Скрутка жил протекает при сочетании двух движений – поступательного и вращательного. Поступательное движение с постоянной скоростью V_n обеспечивается тяговым устройством, вращательное движение с частотой вращения $n_{ку}$ – крутильным устройством.

В таком случае практический шаг скрутки, реализуемый на машине однократной скрутки ($h_{пр}$), равен:

$$h_{пр} = V_n / n_{ку} = \frac{\pi D_{my} n_{my}}{n_{ку}} 10^3, \text{ мм}, \quad (9)$$

на рамочных машинах двухкратной скрутки

$$h_{пр} = V_n / 2n_{ку} = \frac{\pi D_{my} n_{my}}{2n_{ку}} 10^3, \text{ мм}, \quad (10)$$

где $V_{л}$ – линейная скорость ТПЖ, м/мин; $n_{ты}$ – частота вращения тягового устройства, об/мин; $D_{ты}$ – диаметр тягового устройства, м.

Таблица 3

Количество проволок в жиле	Диаметр жилы, мм	Количество проволок в жиле	Диаметр жилы, мм	Количество проволок в жиле	Диаметр жилы, мм
9	$3,7d_{пр}$	22	$5,7d_{пр}$	41–44	$8d_{пр}$
10	$4d_{пр}$	23–24	$6d_{пр}$	45–48	$8,15d_{пр}$
11–12	$4,15d_{пр}$	25–27	$6,15d_{пр}$	49–52	$8,41d_{пр}$
13–14	$4,41d_{пр}$	28–30	$6,41d_{пр}$	53–56	$8,7d_{пр}$
15–16	$4,7d_{пр}$	31–33	$6,7d_{пр}$	57–62	$9,0d_{пр}$
17–19	$5d_{пр}$	34–37	$7d_{пр}$	91	$11,0d_{пр}$
20–21	$5,3d_{пр}$	38–40	$7,3d_{пр}$	108	$12,5d_{пр}$

Современные крутильные машины позволяют скручивать жилы различных конструкций и сечений. Для этой цели тяговое и крутильное устройства имеют многоступенчатые коробки передач, с помощью которых шаг скрутки изменяется в широком диапазоне от $h_{пр\ min}$ до $h_{пр\ max}$, при этом количество шагов будет равно $i \cdot j$, а значение шагов

$$h_{прij} = V_{лj} / n_{кyi} = \frac{\pi D_{my} n_{myj}}{n_{кyi}}, \quad (11)$$

где i, j – количество ступеней коробки передач крутильного и тягового устройств, соответственно.

В современных машинах, оснащенных индивидуальными электроприводами тягового и рабочих узлов, при выбранных $V_{л}$ реализуются скрутка с плавным изменением величины шага в широком интервале.

3. Экспериментальная часть

3.1. Задание

По стандартам или ТУ на кабельное изделие и S_n определить класс и форму жилы.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Из ГОСТ 22483–77 на ТПЖ находится количество и диаметры проволок жилы для заданного S_n , определяется конструкция жилы: для жил I–III классов – количество повивов, форма скрутки, диаметры повивов; для жил IV–VI классов – количество проволок, стренг, форма скрутки, диаметры стренг и повивов.
2. Выбрать способ скрутки (с откруткой или без открутки).
3. В соответствии с конструктивными данными жилы и способом скрутки выбрать необходимые для скрутки крутильные машины и ознакомиться с их техническими характеристиками.

4. Ознакомиться с конструкциями основных узлов и кинематической схемой машины, системами регулирования скорости тягового и частотой вращения крутильного устройств.
5. Рассчитать режим скрутки, т. е. найти h_p и размеры калибров для каждого повива [2].
6. Скопировать кинематическую схему машины.
7. По кинематической схеме произвести расчет практических шагов скрутки: $h_{npj} = v_{ли} / n_{куj}$, мм.
8. Выбрать практический режим скрутки ($h_{пр}$, $V_{л}$, $n_{ку}$, $n_{ту}$), когда $h_{пр} \approx h_p$ при возможно большей $V_{л}$.
9. Составить карту технологической операции скрутки.
10. Подготовить машину к скрутке жилы, т. е. установить рычаги переключения на коробках передач крутильного и тягового устройств в соответствующие положения, установить калибры и провести скрутку жилы.
11. Проверить соответствие параметров скрученной жилы расчетным значениям.
12. Сделать выводы по работе.

4. Вопросы для самоконтроля

1. От чего зависит гибкость ТПЖ?
2. Какие виды и способы скрутки применяются при формировании жил?
3. Какое влияние оказывает направление скрутки повивов на жиле?
4. Как обеспечивается изменение шага скрутки повивов жилы на крутильной машине?
5. Какие виды и способы скрутки реализуются на клетьевых, сигарных и рамочных машинах?

5. Список литературы

1. Пешков И.Б. и др. Производство кабелей и проводов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 632 с.
2. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 368 с.
3. Белорусов Н.И. и др. Электрические кабели, провода и шнуры: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.

Лабораторная работа № 3

ИЗОЛИРОВАНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ОБМОТКИ

1. Цель работы

Изучение метода обмотки токопроводящих жил кабельных изделий лентами, расчет кинематических схем обмоточных машин, выбор режима изолирования и проведение его на производственном оборудовании с последующим контролем параметров обмотки.

2. Теоретическая часть

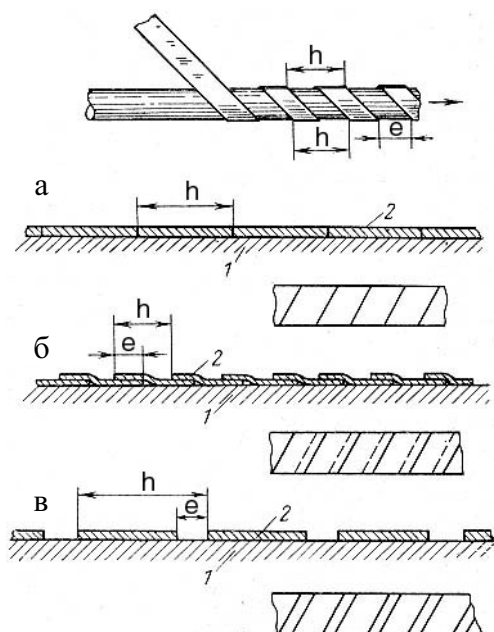


Рис. 1. Изолирование обмоткой

Методом *встык* на ТПЖ накладывается изоляция из волокнистых материалов или 1–3 полимерных лент с подклейкой последних к жиле. При этом методе обмотки кромки витков ленты (пряди) соприкасаются друг с другом.

При обмотке *с перекрытием* кромки ленты последующего витка перекрывают кромки ленты предыдущего витка. Выполненная этим методом изоляция имеет повышенную жесткость, т. к. смещение лент при изгибах жил затруднено. И в то же время такая изоляция имеет высокую электрическую прочность.

При обмотке *с зазором* между кромками витков ленты оставляется зазор. Метод широко применяется для изолирования жил силовых кабе-

Методом обмотки накладывается изоляция силовых кабелей, обмоточных проводов из бумажных, полимерных лент или нитей волокнистых материалов.

Сущность метода заключается в том, что ленты накладываются на жилы в виде цилиндрической спирали. Спираль образуется при непрерывном вращении с постоянной частотой ролика с лентой вокруг токопроводящей жилы (ТЖ), при равномерном поступательном движении последней.

При наложении изоляции возможны три метода обмотки (рис. 1) – встык (а); с перекрытием (б); с зазором (в).

лей и обмоточных проводов. Изоляция обладает достаточно высокой гибкостью, но имеет меньшую электрическую прочность по сравнению с изоляцией, наложенной с перекрытием. При обмотке слои изоляции накладываются с 50%-м или 30%-м перекрытием.

При 50%-м перекрытии зазор или стык между кромками слоя приходится на середину ширины ленты верхнего слоя.

При 30%-м перекрытии зазор между витками нижнего слоя приходится на 1/3 ширины ленты верхнего слоя. При изолировании жил силовых кабелей применяется, преимущественно, 30%-е перекрытие, при изолировании обмоточных проводов – как 30%-е, так и 50%-е перекрытие.

Обмотка проводится с определенными технологическими параметрами, к числу которых относятся следующие: шаг обмотки (h), ширина ленты или пряди (b), угол обмотки (α), аксиальная величина зазора (e), нормальная величина зазора (a).

Между параметрами обмотки и диаметром жилы имеется определенная связь, которую можно установить, используя развертку одного или нескольких витков ленты (рис. 2).

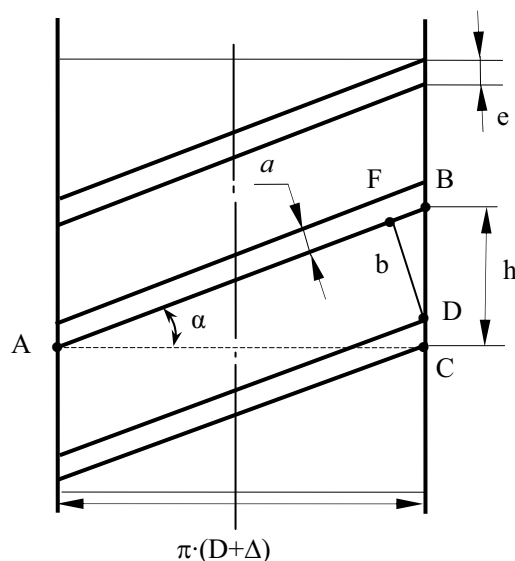


Рис. 2. Схема развертки витка ленты

$$\text{Из } \triangle ABC \quad h = \pi \cdot (D + \Delta) \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Для кабелей с большим диаметром жилы и малой толщиной изоляции уравнение (1) можно записать следующим образом:

$$h = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где D – диаметр жилы, мм; Δ – толщина слоя изоляции, мм.

Из подобия треугольника $\triangle ABC$ и $\triangle BDF$ можно записать соотношение:

$$\frac{FD}{AC} = \frac{BD}{AB},$$

$$\frac{b}{\pi \cdot (D + \Delta)} = \frac{h - e}{\sqrt{\pi^2 \cdot (D + \Delta)^2 + h^2}}, \quad (3)$$

$$b = \frac{(h - e) \cdot \pi \cdot (D + \Delta)}{\sqrt{\pi^2 \cdot (D + \Delta)^2 + h^2}} = (h - e) \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

или $b = h \cdot \cos \alpha - a, \quad (5)$

где $a = e \cdot \cos \alpha$.

Если представить $e/h = k_a$, а $a/b = k_n$, то соотношение (4) примет следующий вид:

$$b = \pi \cdot (D + \Delta) \cdot (1 - k_a) \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

или $b = \pi \cdot D \cdot (1 - k_a) \cdot \sin \alpha. \quad (7)$

Соотношения (6, 7) справедливы для обмотки с зазором. Для обмотки с перекрытием они будут иметь вид

$$b = \pi \cdot (D + \Delta) \cdot (1 + k_a) \cdot \sin \alpha, \quad (8)$$

или $b = \pi \cdot D \cdot (1 + k_a) \cdot \sin \alpha. \quad (9)$

Из уравнений (1–9) видно, что с увеличением α возрастает h , увеличивается ширина ленты, повышается производительность обмоточных машин и одновременно уменьшается плотность намотки, устойчивость лент, гибкость изоляции и ее пробивное напряжение.

Между k_a и k_n существует следующая зависимость:

- при обмотке с перекрытием

$$k_a = \frac{k_n}{1 - k_n} \quad \text{или} \quad k_n = \frac{k_a}{1 + k_a}; \quad (10)$$

- при обмотке с зазором

$$k_a = \frac{k_n}{1 + k_n} \quad \text{или} \quad k_n = \frac{k_a}{1 - k_a}. \quad (11)$$

Плотность намотки связана с величиной нормальной силы натяжения ленты P_1 (рис. 3), т. е. чем меньше α , тем больше P_1 и плотность намотки лент.

$$P_1 = P \cdot \cos \alpha. \quad (12)$$

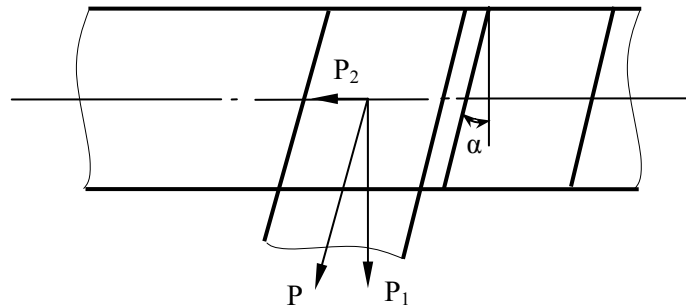


Рис. 3. Распределение сил натяжения в ленте

В этой связи на практике используются следующие величины углов:

- 1) для силовых кабелей $U_H = (1-10) \text{ кВ}$, $\alpha = (25-40)^\circ$;
 $U_H = (20-35) \text{ кВ}$, $\alpha = (15-25)^\circ$;
 $U_H = (110-500) \text{ кВ}$, $\alpha = (7-15)^\circ$;
- 2) для обмоточных проводов
 - с ленточной изоляцией $\alpha = (30-60)^\circ$;
 - с волокнистой изоляцией $\alpha = (15-70)^\circ$;
 - со стекловолокнистой изоляцией $\alpha = (26-28)^\circ$.

Параметры обмотки определяются с учетом размеров жилы, толщины изоляции и корректируются в соответствии с техническими характеристиками машины.

Количество лент (n_l), необходимое для наложения изоляции заданной толщины ($\Delta_{из}$), определяется из выражения

$$n_l = \frac{\Delta_{из}}{\delta_l} \cdot k_b, \quad (13)$$

где δ_l – толщина ленты, мм; k_b – коэффициент вытяжки ленты (для кабельной бумаги и полимерных лент $k_b = 1,1$).

В ряде изделий, в том числе и в монтажных проводах с пластмассовой изоляцией, последняя выполняется из небольшого количества лент, например из 1–3 лент. Для достижения нужной толщины изоляции обмотка в этом случае ведется с перекрытием. Величина перекрытия может быть 40–60 %. Реальную величину перекрытия лент можно определить, используя эмпирическую формулу

$$n'_l = n_l \cdot \left(1 - \frac{k_a}{100}\right), \quad (14)$$

где n_l – количество лент, определенное по (13); n'_l – количество лент, накладываемых на ТПЖ; k_a – величина аксиального перекрытия, %.

$$k_a = \left(1 - \frac{n'_l}{n_l}\right) \cdot 100 \%. \quad (15)$$

Ширина ленты определяется из (8, 9) при выбранном α .

3. Экспериментальная часть

3.1. Задание

Ознакомиться с конструкцией кабельного изделия.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Составить таблицу с геометрическими размерами изделия и радиальной толщиной изоляции ($\Delta_{из}$).
2. Выбрать марку пленки для изолирования жилы, измерить ее толщину (δ_l), мм.

3. Выбрать обмоточную машину, записать ее технические характеристики, количество обмотчиков, начертить кинематическую схему и определить практические шаги обмотки ($h_{пр}$), реализуемые на машине по формуле (16).

$$h_{пр} = \frac{v_{л}}{n_{об}} = \frac{\pi \cdot D_{тш} \cdot n_{тш}}{n_{об}} \cdot 10^3, \text{ мм}, \quad (16)$$

где $v_{л}$ – скорость изолирования, м/мм; $D_{тш}$ – диаметр тяговой шайбы, м; $n_{тш}$ – число оборотов тяговой шайбы, об/мин; $n_{об}$ – число оборотов лентообмотчика, об/мин.

4. Выбрать теоретический угол обмотки ($\alpha_{т}$) и рассчитать теоретический шаг обмотки ($h_{т}$) по формуле (1).
5. Выбрать $h_{пр}$ (п. 4), ближайший по величине к $h_{т}$.
6. Определить реальный (практический) угол обмотки ($\alpha_{пр}$) как

$$\alpha_{пр} = \text{arctg} \frac{h_{пр}}{\pi \cdot (D + \Delta)}. \quad (17)$$

7. По (13) определить $n_{л}$, а из (15) $k_{н}$.
8. По (8, 9) рассчитать ширину ленты и выбрать направление обмотки. По результатам расчета (п. 4–10) составляется карта эскиза технологического процесса обмотки.

В соответствии с расчетами (картой эскиза) обмоточную машину подготавливают к работе и проводят изолирование жилы. На готовом изделии проверяются его радиальные размеры, параметры обмотки (шаг, угол, перекрытие) и сравнивают их с расчетными значениями.

4. Вопросы для самоконтроля

1. Методы обмотки ТПЖ лентами и их применение.
2. Какие параметры обмотки влияют на гибкость изоляции?
3. Как определить практический шаг обмотки?
4. Какое влияние оказывает величина зазора или перекрытия на механические и электрические свойства изоляции?

5. Список литературы

1. Пешков И.Б., Белорусов Н.И. Производство кабелей и проводов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 632 с.
2. Пешков И.Б. Обмоточные провода. – М.: Энергоиздат, 1984. – 352 с.
3. Привезенцев В.А. и др. Основы кабельной техники. – М.: Энергоиздат, 1975. – 472 с.
4. Основы кабельной техники: учебник для студентов вузов / В.М. Леонов, И.Б. Пешков, И.Б. Рязанов, С.Д. Холодный; под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Академия, 2006. – 432 с.

Лабораторная работа № 4

ЭКСТРУЗИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ

1. Цель работы

Изучение влияния режима экструзии на качество изоляции и оценка адекватности математической модели реальному процессу экструзии.

2. Теоретическая часть

Экструзия является одним из основных методов наложения изоляции или защитных оболочек на кабельные изделия из полимерных материалов или кабельных резин. Этот процесс заключается в том, что формирование изделия происходит при непрерывном продавливании полимера в вязкотекучем состоянии через формующий инструмент с последующим его отверждением.

Полимер в твердом состоянии, в виде гранул, подается в червячный пресс и непрерывно перемешивается внутри цилиндра вращающимся червяком. При движении полимер нагревается и переходит из высокоэластичного в вязкотекучее состояние. Нагрев происходит под действием тепла, подводимого от стенок цилиндра и тепла, выделяемого за счет работы сил вязкого трения. В расплавленном состоянии полимер продавливается вдоль канала головки к формующему инструменту. Для обеспечения движения расплава через головку пресса необходимо преодолеть ее гидродинамическое сопротивление, которое определяется конфигурацией, размером канала и качеством обработки его поверхности и т. д. Для этой цели на входе в головку должно быть создано избыточное давление расплава (ΔP).

Общий поток расплава в конце червяка ($Q_{\text{ч}}$) условно можно представить в виде выражения

$$Q_{\text{ч}} = Q_{\text{д}} - Q_{\text{р}} - Q_{\text{л}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{д}}$ – прямой поток расплава материала, направленный к головке прессы по каналу червяка; $Q_{\text{р}}$ – обратный поток вызван избыточным давлением в начале канала головки и направлен встречно прямому потоку в канале червяка; $Q_{\text{л}}$ – поток утечки, вызванный наличием давления в канале головки и движущийся в зазоре между червяком и цилиндром.

Количественно величину потока $Q_{\text{ч}}$ можно оценить из уравнения (2) (для изотермического режима) при определенных условиях:

$$\begin{aligned}
Q_u = & \frac{(\pi \cdot D)^2 \cdot n \cdot h \cdot \left(1 - \frac{i \cdot e}{t}\right)}{2} \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot F_\delta - \\
& - \frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \left(1 - \frac{i \cdot e}{t}\right)}{12 \cdot \eta_{\text{ч}} \cdot L_{\text{зд}}} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \Delta P_{\text{ч}} \cdot F_p - \\
& - \frac{(\pi \cdot D)^2 \cdot \delta^3 \cdot \text{tg} \varphi}{12 \cdot e \cdot L_{\text{зд}} \cdot \eta_{\text{ч}}} \cdot \Delta P_{\text{ч}},
\end{aligned}
\tag{2}$$

где $\eta_{\text{ч}}$ – эффективная вязкость расплава в канале червяка; i – число заходов нарезки червяка; n – число оборотов червяка, об/мин; $F_{\text{д}}$, $F_{\text{р}}$ – коэффициенты формы, учитывающие влияние боковой поверхности канала червяка на величину, соответственно, прямого и обратного потока (рис. 2); $L_{\text{зд}}$ – длина зоны дозирования червяка ($L_{\text{зд}} = 5\text{--}10 D$).

Все остальные обозначения представлены на рис. 1.

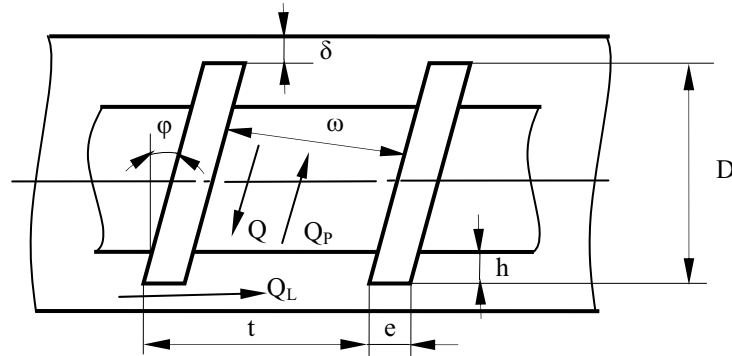


Рис. 1. Канал червяка

Значение $F_{\text{д}}$ и $F_{\text{р}}$ можно определить по рис. 2.

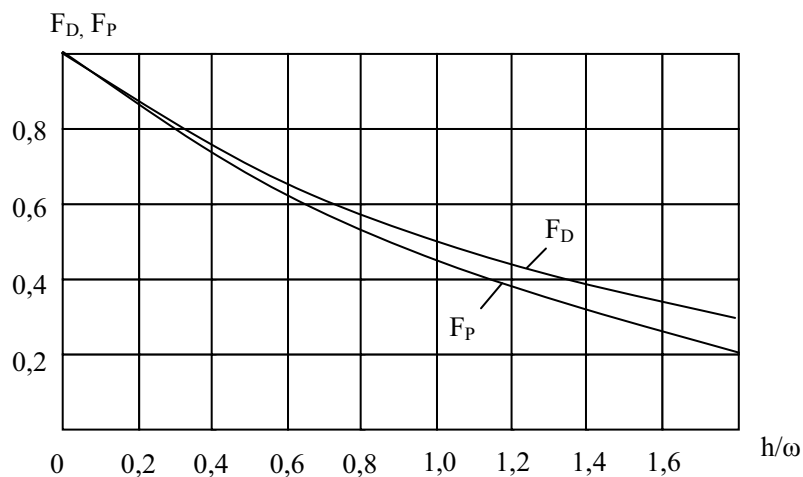


Рис. 2. Зависимость коэффициентов $F_{\text{д}}$, $F_{\text{р}}$ от h/ω

Для однозаходных червяков, наиболее часто применяемых на практике, уравнение (3) примет следующий вид:

$$Q_{\text{ч}} = A \cdot n - (B + C) \cdot \frac{\Delta P_{\text{ч}}}{\eta_{\text{ч}}}, \quad (3)$$

где $A = \frac{(\pi \cdot D)^2 \cdot h \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{2} \cdot F_{\text{д}}$; $B = \frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \sin^2 \varphi \cdot F_{\text{р}}}{12 \cdot L_{\text{зд}}}$; $C = \frac{(\pi \cdot D)^2 \cdot \delta^3 \cdot \text{tg} \varphi}{12 \cdot e \cdot L_{\text{зд}}}$,

A, B, C – величины, характеризующие, соответственно, прямой поток ($Q_{\text{д}}$), обратный и поток утечки ($Q_{\text{р}} < Q_{\text{л}}$).

Уравнение (3) выражает производительность червяка в единицу времени (мин) в единицах объема (см^3).

Производительность головки пресса можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{г}} = K \cdot \frac{\Delta P_{\text{г}}}{\eta_{\text{г}}}, \quad (4)$$

где $\Delta P_{\text{г}}$ – перепад давления расплава на концах канала головки; $\eta_{\text{г}}$ – эффективная вязкость расплава в головке; K – коэффициент геометрической формы головки (обратная величина гидравлического сопротивления канала головки).

Производительность пресса (Q) определяется совместной работой головки и червяка, т. е. $Q = Q_{\text{ч}} = Q_{\text{г}}$, $\Delta P_{\text{г}} = \Delta P_{\text{ч}}$, и принимает следующий вид:

$$Q = \frac{A \cdot n}{1 + \frac{B + C}{K} \cdot \frac{\eta_{\text{г}}}{\eta_{\text{ч}}}}, \text{ см}^3/\text{мин}, \quad (5)$$

$$Q = \frac{A \cdot n}{1 + \left(\frac{B + C}{K}\right) \cdot \frac{\eta_{\text{г}}}{\eta_{\text{ч}}}} \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/мин}, \quad (6)$$

где ρ – плотность материала, г/см^3 .

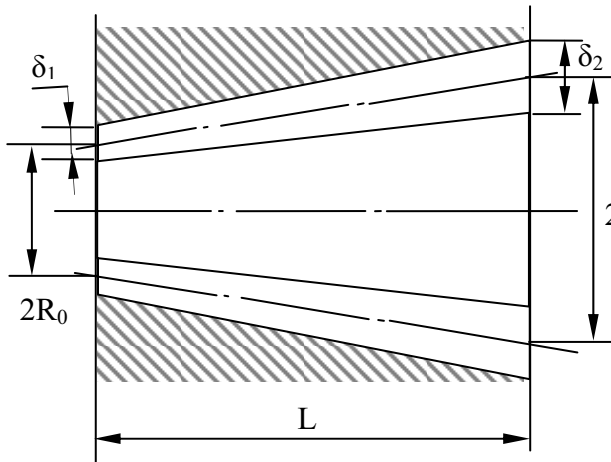
Скорость экструзии определяем по формуле

$$v = \frac{Q}{q}, \text{ м/мин}, \quad (7)$$

где q – расход материала (полимера) на 1 м изделия, $\text{см}^3/\text{м}$, кг/м .

Величина K зависит от длины канала головки, ее формы и поперечных размеров. В связи с тем, что форма канала изменяется, необходимо разделить канал на участки, имеющие постоянную форму, а затем определить для каждого участка величину K (рис. 3, *a–e*):

а) кольцевую-коническую

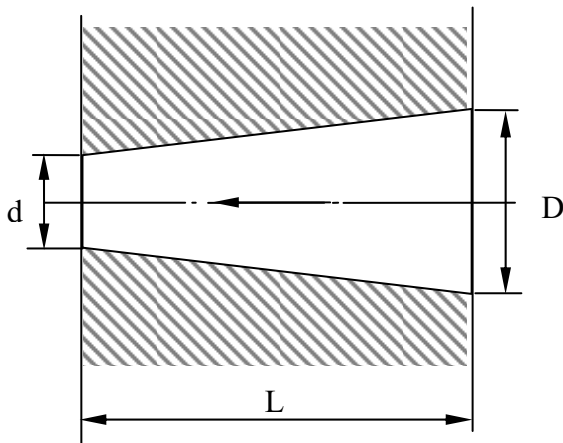


$$K = \frac{\pi \cdot (R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m}, \text{ см}^3, \quad (8)$$

$$m = \frac{(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \ln \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$\gamma = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_0 + R_1) \cdot (\delta_1 + \delta_2)^2}, \text{ с}^{-1}, \quad (9)$$

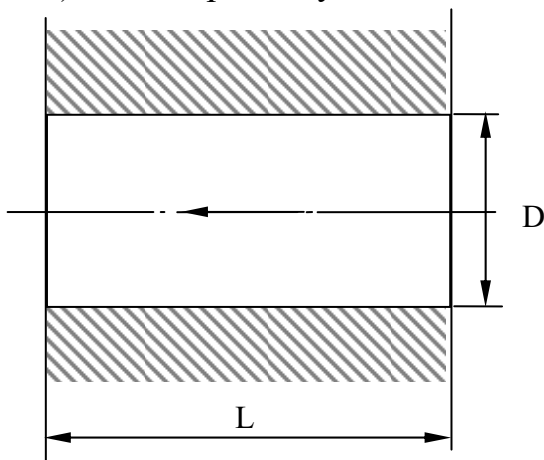
б) коническую круглую



$$K = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot d^3}{128 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \cdot L}, \text{ см}^3, \quad (10)$$

$$\gamma = 256 \cdot Q / \pi \cdot (D + d)^3, \text{ с}^{-1}, \quad (11)$$

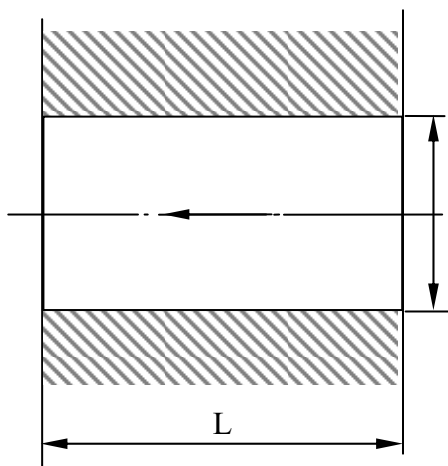
в) цилиндрическую



$$K = \frac{\pi \cdot D^4}{128 \cdot L}, \text{ см}^3, \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot D^3}, \text{ с}^{-1}, \quad (13)$$

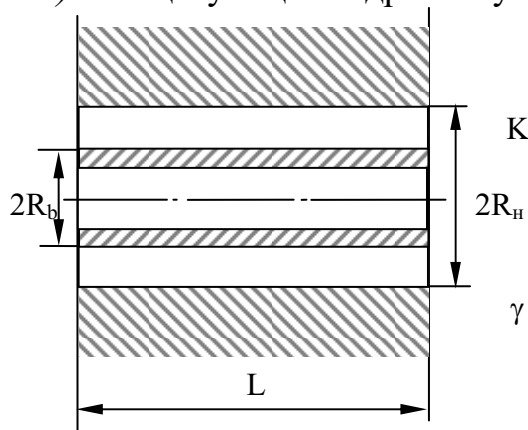
з) квадратную



$$K = \frac{b^4}{12 \cdot L}, \text{ см}^3, \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{2,79 \cdot Q}{b^3}, \text{ с}^{-1}, \quad (15)$$

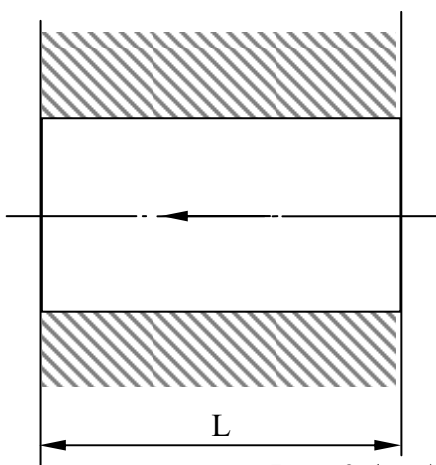
д) кольцевую-цилиндрическую



$$K = \frac{\pi}{8 \cdot L} \cdot \left[R_{\text{н}}^4 - R_{\text{б}}^4 - \frac{(R_{\text{н}}^2 - R_{\text{б}}^2)^2}{\ln\left(\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{б}}}\right)} \right], \text{ см}^3, \quad (16)$$

$$\gamma = \frac{5,58}{\pi \cdot (R_{\text{н}} + R_{\text{б}}) \cdot (R_{\text{н}} - R_{\text{б}})^2}, \text{ с}^{-1}, \quad (17)$$

е) произвольную



$$K = \frac{F^3}{2 \cdot L \cdot P^2}, \text{ см}^3, \quad (18)$$

$$\gamma = \frac{2 \cdot Q \cdot P}{F^2}, \text{ с}^{-1}. \quad (19)$$

Рис. 3 (а-е). Формы участков канала головки:
 γ – градиент скорости сдвига; F – площадь поперечного сечения канала, см^2 ;
 P – периметр поперечного сечения канала, см

Общая величина K для нескольких последовательно расположенных участков канала головки равна:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}}, \text{ см}^3, \quad (20)$$

где K_1, K_2, \dots, K_n – коэффициенты соответствующих участков канала головки.

Установлено, что основной вклад в величину K головки вносит область формующего инструмента – дорна и матрицы. Форма инструмента определяется способом опрессования: с обжатием (рис. 4 а, в) или без обжатия (рис. 4 б, в). Основные размеры и форма инструмента показаны на рис. 4 (а, б, в).

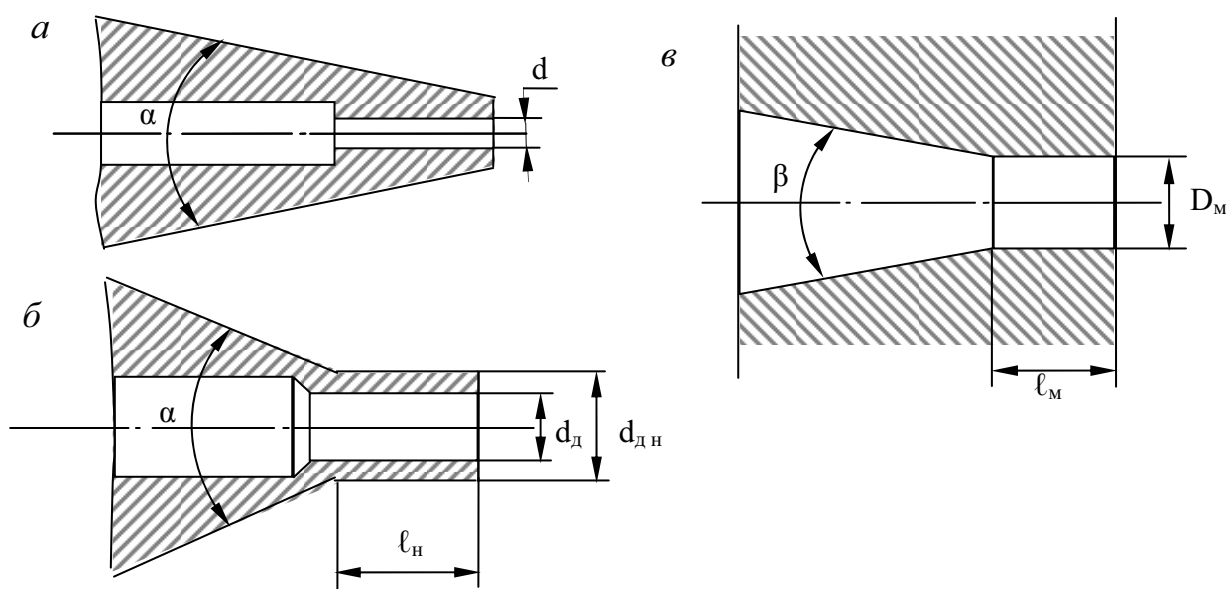


Рис. 4. Формы и основные параметры формующего инструмента:
 а) дорн для прессования с обжатием;
 б) дорн для прессования без обжатия; в) матрица

Наложение изоляции обычно производится с обжатием, а оболочки – без обжатия.

Определение эффективной вязкости в каналах червяка и головки проводится по зависимостям $\eta_{\text{эфф}} = f(\dot{\gamma}, t^0)$ – реологическим характеристикам для каждого полимерного материала (рис. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4). Градиент скорости в канале червяка ($\gamma_{\text{ч}}$) определяется из формулы

$$\gamma_{\text{ч}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ч}} \cdot n_{\text{ч}}}{60 \cdot h}, \text{ с}^{-1}, \quad (21)$$

где D_q – диаметр червяка, мм; n_q – частота вращения червяка, об/мин;
 h – глубина нарезки червяка в зоне дозирования, мм.

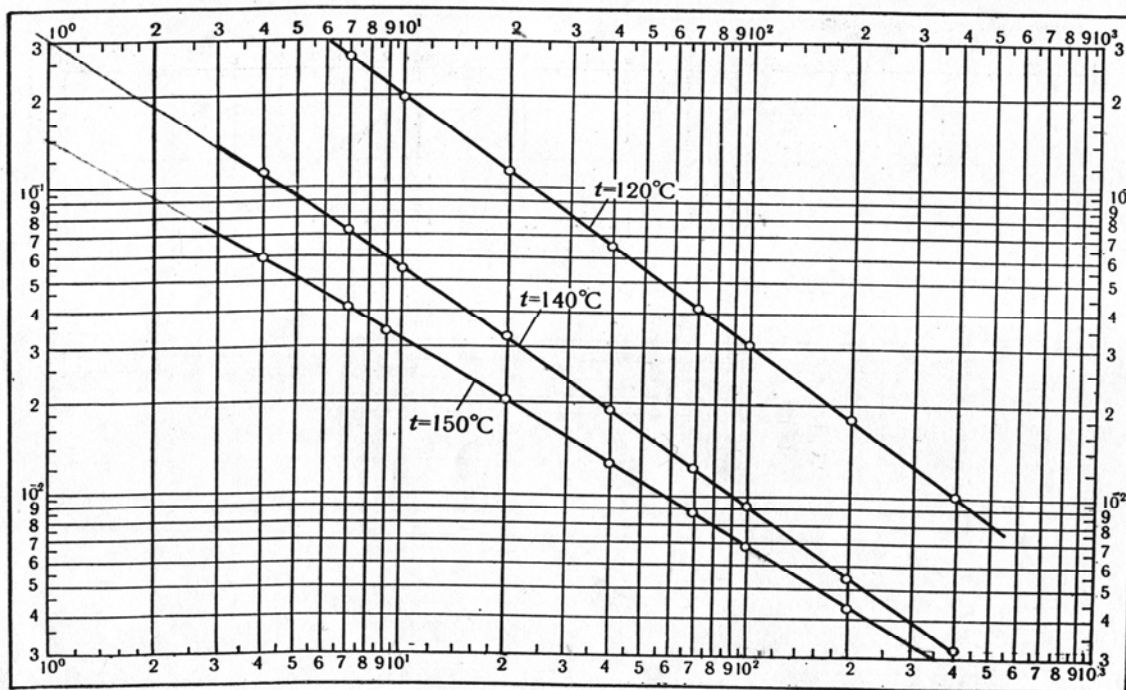


Рис. 5.1. Реологическая характеристика для ПВХ-пластиката

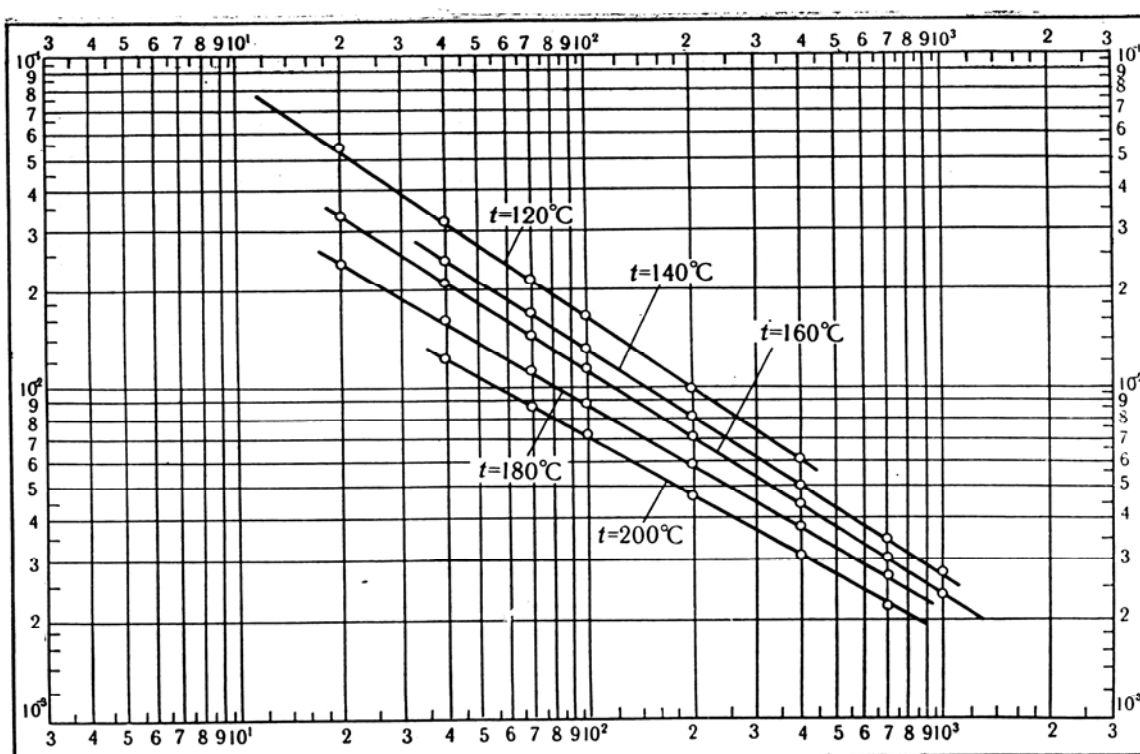


Рис. 5.2. Реологическая характеристика для полиэтилена

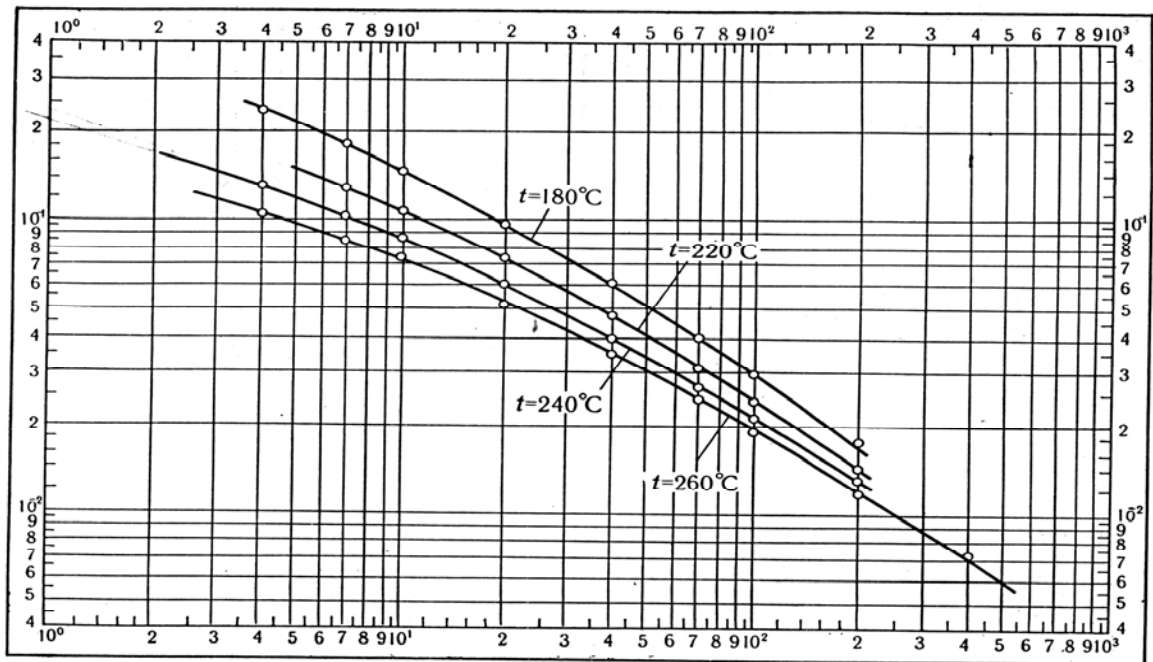


Рис. 5.3. Реологическая характеристика для сополимера СЭП-7Н

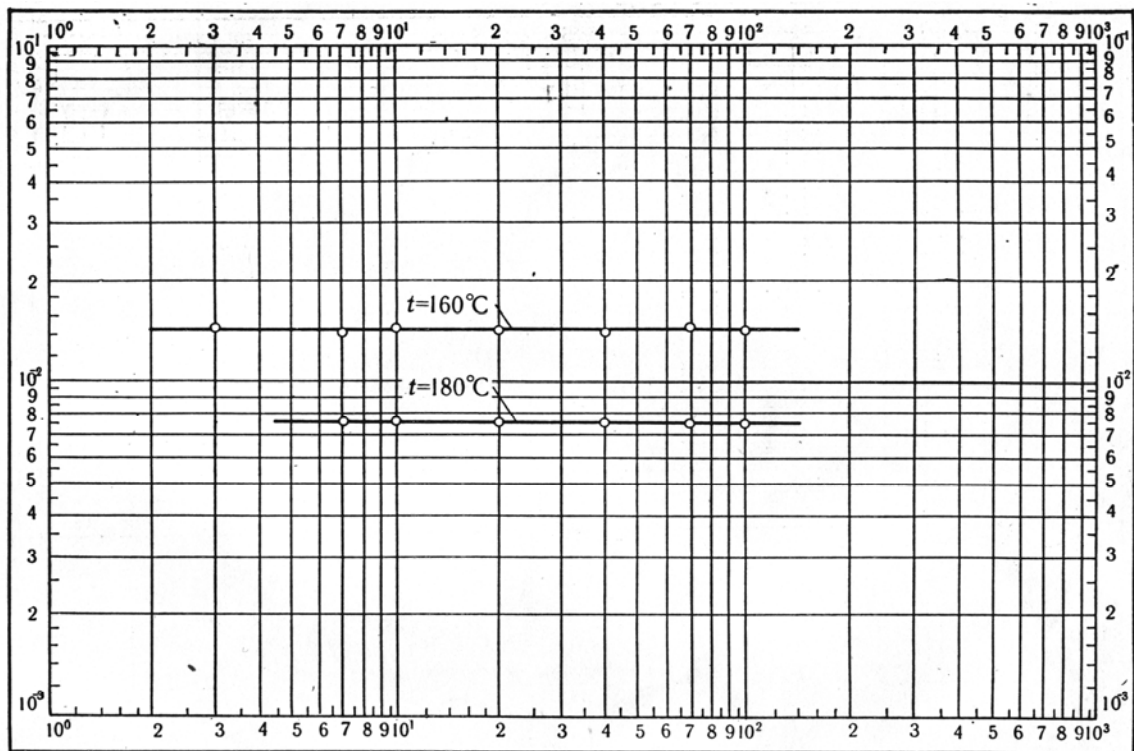


Рис. 5.4. Реологическая характеристика для полиамида С-6

В канале головки $\dot{\gamma}$ находится из формул (9–19). Градиент скорости в головке определяется для последнего участка матрицы методом последовательного приближения, принимая за исходное значение Q , при $\eta_r = \eta_n$.

3. Экспериментальная часть

Для успешного выполнения лабораторной работы необходимо предварительно ознакомиться с составом и конструкцией экструзионного агрегата, теорией экструзии [1–3], методом определения пробивного напряжения [4] и методами обработки результатов эксперимента [5].

Качество изоляции кабельных изделий, полученных методом экструзии, определяется свойствами исходного полимерного материала и технологическим режимом экструзии. Технологический режим характеризуется такими параметрами, как, например, температура переработки, скорость экструзии, давление в головке, режим охлаждения, величина вытяжки и т. д. Перечисленные параметры определяют структуру изоляции, степень ориентации молекул полимера, внутренние механические напряжения, стабильность размеров и т. п. При этом влияние каждого параметра не однозначно и многопланово. В литературе имеются отрывочные данные о влиянии температуры переработки, степени вытяжки на структуру и некоторые физико-механические свойства полимеров, которые не могут полностью использоваться для изоляции, изготовленной методом экструзии.

Для достижения цели данной работы необходимо прежде всего выбрать: критерий качества изоляции или оболочки; параметр режима экструзии, влияние которого на качество должны исследовать.

Критерий качества выбирают с учетом функций, выполняемых оболочкой или изоляцией. Для изоляции критериями качества могут служить пробивное напряжение ($U_{пр}$) и сопротивление, ресурс изоляции (τ), в меньшей степени механические характеристики. Для оболочек – механические характеристики (относительное удлинение, напряжение разрушения при разрыве (σ_p) и т. д.).

При выборе технологических параметров предпочтение следует отдать тем, изменение которых не требует трудоемкой переналадки оборудования и возможно в широких пределах, хорошо контролируется приборами агрегата. К таким параметрам можно отнести скорость движения жилы, температуру переработки (температура последней зоны цилиндра и головки), температуру охлаждения, скорость вращения червяка и т. д.

При выполнении работы необходимо также провести анализ математической модели производительности экструзии и оценить ее погрешность.

3.1. Задание

Изучить основные узлы экструзионного агрегата и ознакомиться с приборами контроля и управления.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Выписать основные технические характеристики агрегата.
2. Ознакомиться с конструкцией кабельного изделия, которое должно изготавливаться на агрегате.
3. Выбрать формующий инструмент (дорн, матрицу), зарисовать и записать их основные размеры (α , d_d , l_d , β , d_m , l_m).
4. Измерить и записать основные параметры червяка экструдера (D , t , i , h , e , δ , φ , $L_{зд}$).
5. Выбрать технологический параметр экструзии и выявить диапазон его изменения на экструдере.
6. Выбрать 3–4 значения параметра экструзии и при этих параметрах изготовить опытные партии проводов длиной по 25–30 метров.
7. В дневнике зафиксировать режимы работы пресса:
 - а) число оборотов червяка (об/мин);
 - б) скорость экструзии (м/мин);
 - в) температурный режим пресса и охлаждающей ванны.
9. Рассчитать производительность экструдера (пресса) и скорость экструзии по формулам (5–7). Проанализировать формулы (5–7), установить влияние параметров режима экструзии, параметров червяка и инструмента на производительность и скорость экструзии. Сравнить с практическими результатами и оценить погрешность.
10. Выбрать параметр качества изоляции и оценить влияние экструзии на величину его параметра (представить в виде графика).
11. Объяснить результаты исследования.

4. Методика эксперимента

4.1. Подготовка образцов

Для определения пробивного напряжения изоляции используются образцы в виде отрезков провода длиной 400–500 мм. С одного конца образца снимается изоляция на участке длиной 5–10 мм, а на центральной части в качестве второго (внешнего) электрода длиной 100 мм наносится электропроводящий слой из смеси графита, сажи и клея типа БФ-2(6) в пропорции, соответственно, 3–1:2. Количество образцов для одной точки не менее 50 шт.

4.2. Испытание образцов на пробивное напряжение

Испытание образцов проводится на высоковольтной пробивной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 5, где

ПК – пакетный выключатель;

МП – обмотка магнитного пускателя;

ЛТ – лабораторный автотрансформатор;

КВ – высоковольтный вольтметр С-100;

ВТ – высоковольтный трансформатор;
 РМ – обмотка реле максимального тока;
 БК – блок-контакты;
 КРМ – контакты реле РМ.

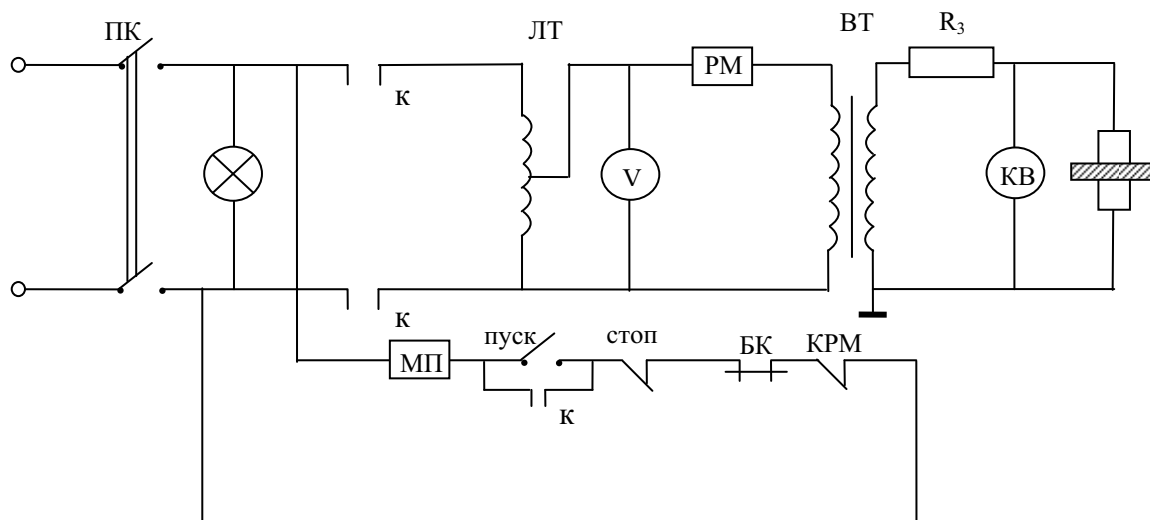


Рис. 5.5. Электрическая схема установки

Высокое напряжение подается на токопроводящую жилу образца к центральному (внешнему) электроду, подключается заземленный зажим. С помощью ЛТ напряжение подается на ВТ и образец со скоростью 1–2 кв/сек до пробоя образца. Пробивное напряжение ($U_{пр}$) регистрируется по киловольтметру. Величина пробивного напряжения каждой партии заносится в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	I партия (кв)	II партия (кв)	III партия (кв)	IV партия (кв)

4.3. Обработка результатов эксперимента

Для оценки влияния параметров режима экструзии на $U_{пр}$, результаты эксперимента (табл.) обрабатываются с применением методов математической статистики [5]. Значения каждой партии разбиваются на интервалы. Находится средняя величина $U_{прi}$ каждого интервала и количество значений $U_{пр}$ в каждом интервале (n_i) [5]. Затем для каждой партии определяются: среднее пробивное напряжение ($\bar{U}_{пр}$), основное отклонение ($\bar{\sigma}_{пр}$), коэффициент вариации (v , %).

$$\bar{U}_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{прi} \cdot n_i}{N}, \text{ кв,}$$

где N – число образцов (число пробоев) в партии.

$$\bar{\sigma}_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum^n (U_{\text{пр}i} - \bar{U}_{\text{пр}})^2 \cdot n_i}{N-1}}, \text{ КВ,}$$

$$v = \frac{\bar{\sigma}_{\text{пр}}}{\bar{U}_{\text{пр}}} \cdot 100 (\%).$$

Величины $\bar{U}_{\text{пр}}$, $\bar{\sigma}_{\text{пр}}$ и v каждой партии заносятся в табл. 2.

Таблица 2

№ партии	$\bar{U}_{\text{пр}}$, КВ	$\bar{\sigma}_{\text{пр}}$, КВ	v , %
1			
2			
3			

4.4. Анализ результатов эксперимента

Степень влияния режима экструзии можно оценить по различию средних значений $\bar{U}_{\text{пр}}$. Для этой цели используем критерий t [5] (результаты расчета сводим в табл. 3) или критерий Фишера F [5] (табл. 4).

Таблица 3

№ партии	Сравниваемые $\bar{U}_{\text{пр}}$		$t_{\text{рас}}$	$t_{\text{табл}}$	Значимость различия (значимо)
	$\bar{U}_{\text{пр}1}$	$\bar{U}_{\text{пр}2}$			

Таблица 4

№ п/п	Сравниваемые S		$F_{\text{рас}}$	$F_{\text{табл}}$	Значимость различия
	S_i	S_j			

Сравнивая расчетные значения критериев $t_{\text{рас}}$ или $F_{\text{рас}}$ с табличными $t_{\text{табл}}$, $F_{\text{табл}}$ при коэффициенте $\varepsilon = 0,05$, нужно сделать вывод о влиянии параметра режима экструзии на изоляцию. При объяснении результатов эксперимента следует рассмотреть физику явлений, происходящих при экструзии полимера, например возможность появления внутренних механических напряжений, их релаксация, образование надмолекулярной структуры, ориентация молекул и строение свойств и т. п.

5. Вопросы для самоконтроля

1. Эффективная вязкость. Какие факторы оказывают влияние на ее величину?
2. Как влияют параметры червяка (D , h , φ , $L_{зд}$) на производительность прессы?
3. Влияние температуры термопластичного материала на производительность прессы.
4. Влияние надмолекулярной структуры на электрические свойства изоляции.
5. Влияние внутренних механических напряжений на электрические свойства изоляции.
6. Назначение и основные узлы экструзионного агрегата.

6. Список литературы

1. Привезенцев В.А., Рязанов И.Б. и др. Основы кабельной техники. – М.: Энергия, 1975. – 464 с.
2. Белорусов Н.И., Пешков И.Б. Производство кабелей и проводов. – М.: Энергия, 1981. – 632 с.
3. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки пластмасс. – М.: Химия, 1977. – 462 с.
4. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытания электроизоляционных материалов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 296 с.
5. Митрапольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

Лабораторная работа № 5

ЛКНВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ

1. Цель работы

Изучение конструкции ЛКНВ, технологии изготовления кабельного изделия с резиновой изоляцией и оболочкой, расчет технологического режима вулканизации, проверка адекватности математической модели вулканизации реальному процессу вулканизации.

2. Теоретическая часть

ЛКНВ – кабельная линия, предназначенная для совмещения процессов наложения резиновой изоляции или оболочки методом экструзии с непрерывной ее вулканизацией и охлаждением.

По назначению ЛКНВ условно можно разделить на линии для наложения изоляции и оболочек. В состав линий входят следующие узлы: отдающее устройство, червячный пресс (экструдер), вулканизационная камера с входным затвором, охлаждающая камера с промежуточным (паровым) в начале и водяным концевым затвором в конце, тяговое и приемное устройства.

В современных линиях дополнительно могут устанавливаться накопители, натяжные устройства, установки непрерывного подогрева жил или сердечника кабеля, приборы для контроля за диаметром изделия и установки испытания изоляции повышенным напряжением.

Стабильная работа линии возможна при правильном согласовании процессов экструзии и вулканизации, при этом режим работы линии определяет процесс вулканизации.

Вулканизация резиновой смеси представляет собой физико-химический процесс, при котором в результате образования поперечных связей между молекулами каучука и повышения их количества изменяются физико-механические свойства резин. Изменение свойств резин связано с рецептурой резиновой смеси и комплексом технологических факторов, к числу которых следует отнести начальную температуру жилы (сердечника) и смеси, температуру пара и охлаждающей воды.

При оптимальной работе линии производительность экструдера ($Q_{\text{пр}}$) должна быть равна производительности вулканизационной камеры ($Q_{\text{в.к}}$):

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{в.к}} \cdot \quad (1)$$

$Q_{п.р}$ связана [1] с параметрами нарезки червяка, формой и длиной канала головки, реологическими свойствами резиновой смеси. Для оценки производительности прессы при экструзии резиновых смесей можно использовать те же соотношения, которые применяются и при экструзии термопластичных полимеров.

$$Q_{п.р} = \frac{n \cdot A \cdot F_d}{1 + \frac{BF_c + C}{k} \cdot \frac{\eta_r}{\eta_c}} \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/мин}, \quad (2)$$

где $A = \frac{1}{2}(\pi D) \cdot h \left(1 - \frac{i \cdot e}{t}\right) \sin \phi \cdot \cos \phi$; $B = \pi D \cdot h^3 \left(1 - \frac{i \cdot e}{t}\right) \sin^2 \phi \frac{1}{12L_{зд}}$;

$C = \frac{(\pi D)^2 \cdot \delta^3 \operatorname{tg} \phi}{12e \cdot L_{зд}}$; n – частота вращения червяка, об/мин; η_r , η_c – эффек-

тивная вязкость резиновой смеси, соответственно, в канале головки и червяка, 1/с; D – диаметр червяка, см; h – глубина нарезки в зоне дозирования (см); e – аксиальная ширина гребня нарезки, см; δ – зазор между червяком и цилиндром, см; t – шаг нарезки, см; i – заходность нарезки; $L_{зд}$ – длина зоны дозирования червяка, см; F_c , F_p – коэффициенты, учитывающие влияние боковой поверхности гребней нарезки на величину прямого и обратного потока; ρ – удельная плотность смеси, г/см³.

Определение $Q_{п.р}$ по соотношению (2) возможно при наличии как параметров нарезки червяка, так и реологических характеристик резиновых смесей. Ввиду отсутствия последних, производительность прессы (кг/мин) можно оценить приближенно, используя следующее уравнение [2]:

$$Q_{п.р} = \frac{\pi D_{ср}}{\cos \phi} F \cdot i \cdot \rho \cdot n \cdot K_3 \cdot 10^{-3} = \pi(D - h)(t - ie)h \cdot \rho \cdot n \cdot K_3 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где D , n , i , h , e – диаметр, частота вращения, заходность и глубина нарезки червяка, аксиальная ширина гребня, соответственно, см; F – площадь поперечного сечения канала нарезки червяка, см²; ρ – удельная плотность резиновой смеси, г/см³; $K_3 = 0,1-0,3$ – коэффициент заполнения канала червяка резиновой смесью.

Через K_3 фактически учитывается влияние заполнения канала червяка резиновой смесью на производительность прессы.

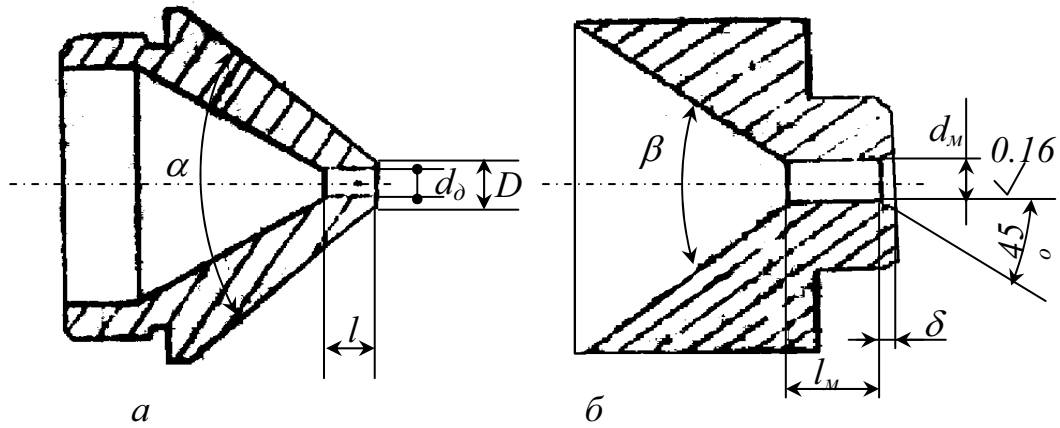


Рис. 1. Формующий инструмент для однослойного наложения изоляции и оболочки: а – дорн; б – матрица

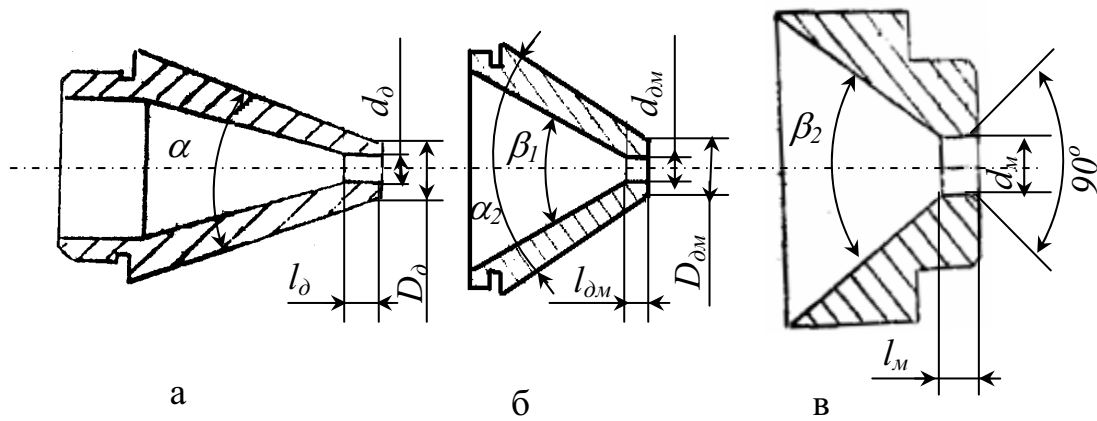


Рис. 2. Формующий инструмент для двухслойного наложения изоляции и экрана или изоляции и оболочки: а – дорн; б – матрица-дорн; в – матрица

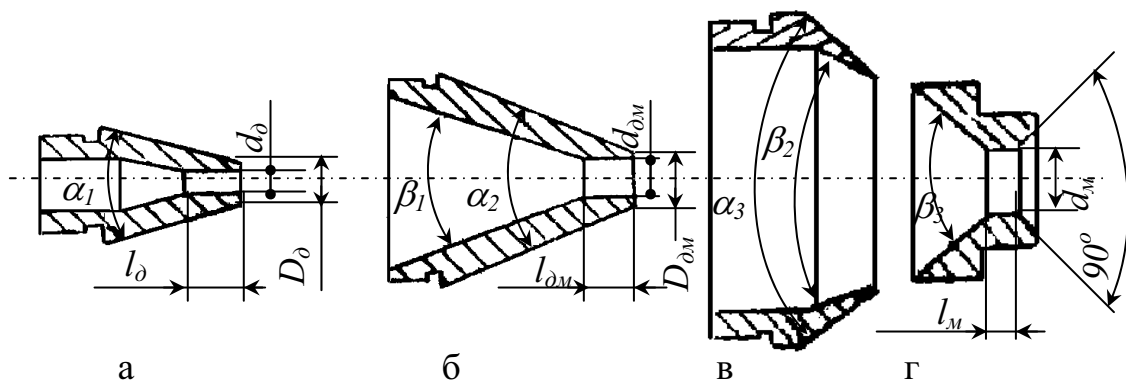


Рис. 3. Формующий инструмент для трехслойного наложения изоляции и экрана: а – дорн; б – матрица-дорн 1; в – конус (матрица-дорн 2); г – матрица

При наложении изоляции (оболочки) резиновая смесь в холодном или подогретом состоянии подается в цилиндр экструдера (пресса) и червяком перемещается к головке. При движении в цилиндре она подогревается за счет тепла, поступающего от цилиндра и возникающего в результате превращения механической энергии в тепловую. В пластическом состоянии смесь поступает в головку и здесь с помощью формирующего инструмента (дорна и матрицы) формируется вокруг жилы или сердечника кабеля. Радиальные размеры изоляции, оболочки задаются размерами матрицы и дорна, форма и размеры которых связаны также со способом опрессования.

При опрессования (с обжатием) применяется инструмент, форма которого изображена на рис. 1.

Размеры дорна и матрицы при однослойном наложении изоляции (оболочки) можно выбрать из табл. 1–3 [3].

Таблица 1

Размеры дорна для наложения изоляции

Диаметр жилы или заготовки D , мм	Внутренний диаметр дорна d_0 , мм	Длина дорна l , мм	Угол α°	Наружный диаметр торца дорна, мм
до 6	$D \cdot (1,08-1,09)$	4–6	50–60	$d_0 \cdot (1,3-1,25)$
от 6 до 10	$D \cdot 1,07$	5–8	50–60	$d_0 \cdot 1,2$
от 10 до 20	$D \cdot 1,05$	6–10	40–55	$d_0 \cdot 1,1$
> 20	$D \cdot 1,04$	9–12	35–50	$d_0 \cdot 1,06$

Таблица 2

Размеры дорна для наложения оболочки

Диаметр жилы или заготовки D , мм	Внутренний диаметр дорна d_0 , мм	Длина дорна l , мм	Угол α°	Наружный диаметр торца дорна, мм
до 10	$D \cdot (1,06-1,05)$	4–8	50–60	$d_0 \cdot (1,13-1,12)$
от 10 до 20	$D \cdot (1,04-1,035)$	6–10	40–55	$d_0 \cdot (1,11-1,1)$
от 20 до 30	$D \cdot 1,03$	7–10	35–50	$d_0 \cdot 1,07$
> 30	$D \cdot 1,025$	9–12	30–45	$d_0 \cdot 1,05$

Таблица 3

Размеры матрицы

Диаметр по изоляции или по оболочке D , мм	Диаметр матрицы d_m , мм	Длина цилиндрической части матрицы l_m , мм	Угол конуса матрицы, β°	Глубина фаски δ , мм
Наложение изоляции				
до 7	$D \cdot 0,99$	3–4	65–75	0,25
от 8 до 19	$D \cdot 0,99$	5–6	70–85	0,12
> 20	$D \cdot 0,99$	6–7	75–90	0,07
Наложение оболочки				
до 15	$D \cdot 0,99$	3–4	70–85	0,12
от 16 до 29	$D \cdot 0,99$	5–6	70–90	0,07
> 30	$D \cdot 0,99$	6–7	75–90	0,04

При двухслойном прессовании, т. е. при одновременном наложении, например, изоляции и экрана, изоляции и оболочки и т. д., используется следующий инструмент, представленный на рис. 2.

В этом случае можно воспользоваться данными табл. 4.

В случае трехслойного прессования, например одновременного наложения экрана, изоляции и экрана, применяется инструмент, представленный на рис. 3.

Температурный режим прессования, т. е. температура цилиндра и головки, связан с типом каучука, пластичностью смеси, ее склонностью к подвулканизации. Для каждой смеси режимы подбираются экспериментально.

Согласно РД 14.406–85 температурные режимы можно выбрать в следующих границах (табл. 5).

Производительность вулканизационной камеры равна:

$$Q_{\text{вк}} = q \cdot \vartheta_{\text{в}}, \text{ г/мин}, \quad (4)$$

где q – расход резиновой смеси на 1 м изделия, г/м, кг/м; $\vartheta_{\text{в}}$ – скорость вулканизации, м/мин.

Скорость вулканизации $\vartheta_{\text{в}}$ связана со временем вулканизации ($\tau_{\text{в}}$) и длиной вулканизационной камеры ($L_{\text{вк}}$):

$$\vartheta_{\text{в}} = \frac{L_{\text{вк}}}{\tau_{\text{в}}}, \text{ м/мин}. \quad (5)$$

При вулканизации изделий с большой толщиной изоляции или оболочки внутренние слои, наиболее удаленные от поверхности, будут прогреваться в неизотермическом режиме. В этой связи для расчета $\tau_{\text{в}}$ исполь-

зается величина, которая одновременно учитывает изменение скорости вулканизации от температуры и времени, – эффект вулканизации

$$E = \int_0^{\tau_b} k \frac{t(\tau) - t_{л}}{10} d\tau, \quad (6)$$

где k – температурный коэффициент вулканизации, $t(\tau)$ – текущее значение температуры, °С; $t_{л}$ – температура вулканизации лабораторных образцов, °С.

Таблица 4

Температурный режим экструдера

Тип резин	Температура, °С		
	цилиндра		головки пресса
	I зона	II зона	
РТИ-0	40–45	60–65	65–75
РТИ-1	40–45	75–80	80–90
РТЭПИ-1	50–55	70–75	75–85
РТСИ-1	20–25	20–25	30–40
РТШИ(М)	50–55	70–75	70–80
РШ-1	50–55	70–75	75–85
РШМ-2	45–50	65–70	70–80
РШГ-2	45–50	50–65	70–75
РШН-1	40–45	60–65	65–75
РШН-2	30–35	50–55	55–65

Считается, что в случае равенства эффектов вулканизации (ЭВ) двух образцов, завулканизированных при различных температурах, степень сшивки у них будет одинакова и величины некоторых характеристик, например напряжение разрушения при растяжении

$$\sigma_{pi} = \sigma_{pmax} [1 - \exp(-k_{л} E_i)], \quad (7)$$

при $E_1 = E_2$, $\sigma_{p1} = \sigma_{p2}$.

Вулканизация изделия происходит как в вулканизационной, так и в охлаждающей камере. Суммарное значение эффекта вулканизации изделия на ЛКНВ будет равно:

$$E = E_T + E_{ox} \quad (8)$$

или

$$E_3 = E_T + E_{ox}, \quad (9)$$

где E_3 – заданное значение эффекта вулканизации, определяющее необходимую величину, например механических свойств резины в расчетной точке; E_T – величина эффекта вулканизации, которую получит оболочка в расчетной точке в вулканизационной камере; E_{ox} – величина ЭВ, получаемая в расчетной точке в охлаждающей камере.

Таблица 5

Размеры формирующего инструмента для двухслойного прессования

Номинальный диаметр жилы d , мм	Дорн				Дорн-матрица				Матрица			
	Диаметр дорна d_0 , мм	Длина пин-дрической части l_0 , мм	Наружный диаметр дорна D_0 , мм	Угол конуса, α_1°	Диаметр матрицы d_m , мм	Длина пин-дрической части l_m , мм	Угол конуса		Наружный диаметр торца D_m , мм	Диаметр матрицы d_m , мм	Длина пин-дрической части l_m , мм	Угол конусности β_2°
							внутренний β_1	наружный α_2				
2-4	1,05 d	4-6	1,04 d	30-40	D_6	2-3	$\alpha_1 + 10$		$1,04 D_{M1}$	D_H	3-4	$\alpha_2 + (12-16)$
4-8	1,03 d	6-8	1,06 d	40-50	—	4-5	$\beta_1 + (10-16)$		$1,06 D_{M1}$	$0,99 D_H$	5-6	
8-12	1,02 d	8-10	1,08 d	50-60	—	5-7			$1,08 D_{M1}$	$0,99 D_H$	6-8	
12-20	1,02 d	10-12	1,1 d	—	—	8-10			$1,10 D_{M1}$	$0,99 D_H$	8-10	
≥ 20	1,02 d	12-14	1,1 d	—	—	$0,5 D_6$			$1,10 D_{M1}$	$0,99 D_H$	$0,5 D_{M2}$	

Примечания:

 D_6 – диаметр изделия по внутреннему слою; D_H – диаметр изделия по наружному слою.

За расчетные точки в кабелях принимают первую точку, расположенную на поверхности, где вулканизация проходит в изотермическом режиме, и вторую точку, наиболее удаленную от поверхности.

Значение E_3 для лабораторных условий вулканизации можно определить из (6), когда $t(\tau) = t_{л}$. В таком случае

$$E_3 = \tau_{вл}, \quad (10)$$

где $\tau_{вл}$ – время вулканизации, за которое образец приобретает необходимые свойства:

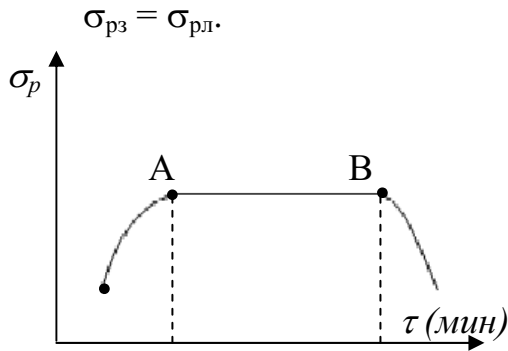


Рис. 4. Зависимость σ_p от времени вулканизации ($t_{л} = const$)

Таким образом, через равенство (10) свойства оболочки, полученные при вулканизации на ЛКНВ, можно связать со свойствами образцов, полученных в лабораторных условиях.

Зависимость σ_p от времени вулканизации резин при комнатной температуре (рис. 4) позволяет записать условие вулканизации поверхностного слоя изделия в ЛКНВ (1-я точка):

$$E_T + E_{ox} \leq \tau_{max}. \quad (11)$$

Для точки 2, удаленной от поверхности расчетной точки,

$$E_T + E_{ox} \geq \tau_{opt}. \quad (12)$$

Таким образом,

$$\tau_{opt} = E_T + E_{ox} = f[t(\tau); t_{л}; f_1(t); \mathcal{G}_в], \quad (13)$$

где $t(\tau)$ – температура в расчетной точке изоляции или изделия; $t_{л}$ – температура вулканизации образцов в лабораторных условиях; $f_1(t)$ – зависимость константы скорости вулканизации от температуры; $\mathcal{G}_в$ – скорость вулканизации изделия в ЛКНВ.

Скорость вулканизации можно выразить следующим соотношением:

$$\mathcal{G}_в = f \left[t_n(\tau); t_{ox}(\tau); t_n; t_p; \frac{r}{R}; a_{рас} f_1(\tau); \tau_{охл} \right], \quad (14)$$

где $t_n(\tau)$ – температура пара в вулканизационной камере, °С; $t_{ox}(\tau)$ – температура воды в охлаждающей камере, °С; t_n – начальная температура

жилы (сердечника) кабеля, °С; t_p – температура резины в головке экструдера, °С; r/R – относительная координата расчетной точки; $a_{расч}$ – относительное значение температуропроводности изделия.

После определения $a_{расч}$, $f_1(r)$ для расчетной точки в [4] предлагается уравнения для определения времени вулканизации изделия (τ_B) на ЛКНВ:

$$\tau_B = \frac{\frac{a_p^k}{R^2} \tau_{зл} \exp(-0,6931\beta)}{\frac{a_{рас}}{R^2}} + \frac{\left[\left(A_{max}' - 0,1339 \exp(-6,667 \frac{a_p^k}{R^2} \cdot \tau_{зл}) \exp(-0,6931\beta) - 0,144 \exp(-41,9 \frac{a_p^k}{R^2} \cdot \tau_{зл}) \exp(-0,6931\beta) \right) \right]}{\frac{a_{рас}}{R^2}}, \quad (15)$$

где $\tau_{зл}$ – время вулканизации лабораторных образцов при температуре $t_{п} \approx 133; 145; 151$ °С; мин; $\beta = 0,332 \ln K (t_{п} - t_{л})$; A_{max}' – величина, определяемая по графику, рис. 5 [4]; a_p^k – расчетный коэффициент температуропроводности кабеля, м²/час; ($\approx 7,17 \cdot 10^{-4}$); $R = D/2$ – радиус оболочки (изоляции) кабеля, м.

Время вулканизации поверхностного слоя изделия (точка 1) определяется [4] из следующего соотношения:

$$\tau_{пов.л} = \tau_B \cdot K^\beta. \quad (16)$$

При этом должно выполняться условие:

$$\tau_{пов.л} \leq \tau_{max}. \quad (17)$$

3. Экспериментальная часть

3.1. Задание

Ознакомиться с конструкцией каждого узла ЛКНВ и записать технические характеристики линии.

3.2. Порядок выполнения работы

1. По ГОСТу или ТУ ознакомиться с конструкцией кабеля, изготавливаемого в данный момент на ЛКНВ. Определить основные размеры кабеля, т. е. диаметр жил, толщину и диаметры по изоляции и оболочке, марки материалов, резиновых смесей, применяемых в кабеле.
2. Ознакомиться с конструкцией формирующего инструмента: дорна и матрицы. В соответствии с размерами изделия выбрать, согласно табл. 1–3, основные размеры инструмента.

3. Измерить параметры нарезки червяка экструдера ЛКНВ.
4. Для вулканизируемого на ЛКНВ кабеля записать следующие технологические параметры:
 - а) температурный режим прессы,
 - б) частоту вращения червяка, об/мин;
 - в) скорость вулканизации, м/мин;
 - г) давление или температуру пара в вулканизационной трубе;
 - д) температуру кабеля, поступающего в пресс;
 - е) температуру и давление воды в охлаждающей камере.
5. Теоретически рассчитать время и скорость вулканизации изоляции (оболочки) по методике, изложенной в работе [4] для трех температур $t_{\text{п}}$, в том числе для температуры п. 5г, и определить частоту вращения червяка.
6. Сравнить рассчитанные $\tau_{\text{в}}$, $\vartheta_{\text{в}}$, $n_{\text{ч}}$ с практическими значениями $\tau_{\text{в пр}}$, $\vartheta_{\text{в пр}}$, $n_{\text{ч пр}}$ и дать объяснение в случаях их расхождения.
7. Составить отчет.

4. Список литературы

1. Григорьян А.Г., Пешков И.Б. и др. Производство кабелей и проводов с применением резин и пластмасс. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
2. Пешков И.Б., Белоруссов Н.И. Производство кабелей и проводов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 632 с.
3. ОСТПП. Кабели, провода и шнуры. Наложение резиновой изоляции и оболочки. Типовой технологический процесс РД 14.406–85, 1985.
4. Татарников А.А. Расчет режимов вулканизации резиновых оболочек кабельных изделий, изготавливаемых на агрегатах непрерывной вулканизации. – Томск: изд. ТПИ, 1976. – 57 с.
5. Татарников А.А. Методическая разработка для расчета с помощью номограмм режимов вулканизации резиновой оболочки кабельных изделий. – Томск: изд. ТПИ, 1974. – 21 с.

Лабораторная работа № 6

ОПЛЕТКА КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

1. Цель работы

Целью данной работы является изучение влияния режима процессов оплетки на эксплуатационные свойства оплетки.

2. Теоретическая часть

Оплетка в кабельных изделиях выполняет роль защитных, изоляционных покрытий или электромагнитных экранов. В соответствии с выполняемой функцией к ней предъявляются определенные требования, регламентируются некоторые характеристики и указываются материалы, из которых она выполняется. Оплетка выполняется прядями из стальных, медных, биметаллических проволок или нитей волокнистых материалов. Пряди накладываются с определенными технологическими параметрами, которые определяют эксплуатационные свойства оплетки и изделия в целом.

Влияние технологических параметров разнообразно. В литературе имеются данные о влиянии некоторых параметров (например α) на экранирующую способность электромагнитного экрана в виде оплетки, но недостаточно информации о влиянии параметров на ее механические характеристики.

Наложение оплетки на кабельные изделия производится на оплеточных машинах.

Пряди накладываются в противоположных направлениях по витковым линиям и переплетаются в определенной последовательности. Прядь состоит из некоторого количества параллельно уложенных проволок или нитей. Если количество, диаметр и материал нитей в прядях противоположных направлений одинаково, то такая оплетка называется *симметричной*.

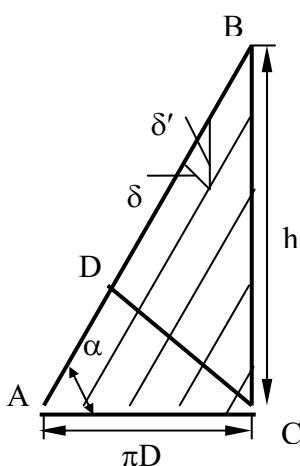


Рис. 1. Развертка оплетки на плоскости

Процесс оплетки характеризуется следующими технологическими параметрами: шагом оплетки – h , углом оплетки – α , поверхностной плотностью – $N_{\text{пов}}$, шириной пряди – δ . Между параметрами оплетки существует взаимная связь. Если развернуть оплетку на плоскость, получим прямоугольный треугольник ABC (рис. 1),

в котором δ – ширина пряди; πD – средняя длина окружности оплетки; δ' – ширина пряди по оси изделия.

$$\delta' = \delta / \cos \alpha, \quad (1)$$

$$CD = h \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

$$CD = \delta \cdot a, \quad (3)$$

$$\delta = n \cdot d,$$

где a – количество прядей, накладываемых в одном направлении; n – количество нитей в пряди; d – диаметр нити или проволоки.

Равенство (3) справедливо, если между прядями отсутствуют зазоры. Шаг оплетки

$$h = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha = \delta' \cdot a = \frac{\delta \cdot a}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

или

$$h = \frac{\pi \cdot D}{\sqrt{\left(\frac{\pi \cdot D}{a \cdot \delta}\right)^2 - 1}}. \quad (5)$$

При переплетении пряди одного направления разделяются друг от друга прядями противоположного направления. Величина зазора между прядями оплетки из проволок (несжимаемые нити) K определяется согласно рис. 2 и выражениям (6).

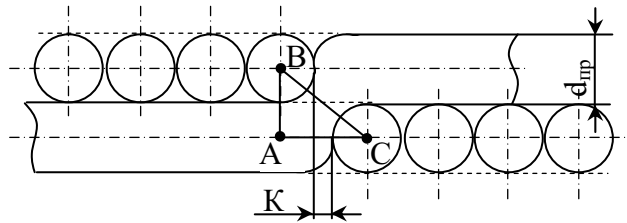


Рис. 2. Переплетение прядей

$$K = \sqrt{BC^2 - AB^2} = \sqrt{4 \cdot d^2 - d^2} = \sqrt{3} \cdot d,$$

$$K = \sqrt{3} \cdot d - d = 0,73 \cdot d. \quad (6)$$

При оплетке нитями нужно учитывать плющение. Так, для х/б пряжи $K = 0,6 \cdot d$, для лощенной пряжи и стекловолокна $K = 0,68 \cdot d$.

Шаг оплетки при наличии зазоров равен:

$$h = \frac{\pi \cdot D}{\sqrt{\left(\frac{\pi D}{a \cdot (n \cdot d + k)}\right)^2 - 1}}. \quad (7)$$

Поверхностная плотность оплетки – это отношение поверхности, покрытой оплеткой, ко всей поверхности изделия. Для симметричной оплетки

$$H_{\text{пов}} = 1 - \left(1 - \frac{n \cdot d}{n \cdot d + k}\right)^2 = 1 - \left(\frac{k}{n \cdot d + k}\right)^2. \quad (8)$$

Для несимметричной оплетки

$$H_{\text{пов}} = 1 - \frac{k_1 \cdot k_2}{(n_1 \cdot d_1 + k_1)(n_2 \cdot d_2 + k_2)}. \quad (9)$$

Из выражения (2–3) $n \cdot d \cdot a = h \cdot \cos \alpha$,

$$n \cdot d = \frac{h \cdot \cos \alpha}{a}. \quad (10)$$

На основании (8–10)

$$H_{\text{пов}} = 1 - \left(1 - \frac{n \cdot d \cdot a}{h \cdot \cos \alpha}\right)^2 = 2 \cdot P - P^2, \quad (11)$$

где $P = \frac{n \cdot d \cdot a}{h \cdot \cos \alpha}$ – линейная плотность,

$$P = 1 - \sqrt{1 - H_{\text{пов}}}. \quad (12)$$

Таблица 1

Параметры оплетки кабельных изделий

№ п/п	Кабели, провода	α	$H_{\text{пов}}$, %
1	Провода с резиновой изоляцией		
	• установочные	30–60	70–87
	• гибкие лакировочные	25–55	90–98
2	Кабели и провода с резиновой изоляцией		
	• судовые	30–45	85–95
	• специальные	25–50	90–98
	• для ж/д транспорта	30–60	80–85
3	Автотракторные провода низкого напряжения	25–55	90–98
4	Провода высокого напряжения	28–35	90–98
5	Радиочастотные кабели	45–55	≥ 95
6	Кабели управления	–”–	> 50 –70

Таблица 2

№ п/п	Диаметр под экраном, мм	Диаметр проволок, мм
1	до 1	0,08
2	до 2	0,10
3	2,2–4,0	0,12
4	4,6–7,25	0,15
5	9	0,20
6	более 10	0,20–0,30

В технических условиях и стандартах регламентируется величина поверхностной плотности оплетки (экрана или защитного покрова), размеры проволоки или номер пряжи. Это позволяет определить из выражения (12) R и, соответственно, количество нитей. При этом следует иметь в виду, что «а» равно половине количества катушек оплеточной машины, на которой производится оплетка изделия. Угол оплетки находится в пределах $20\text{--}60^\circ$ (табл. 1, 2). Нижний предел угла ограничивается конструкцией оплеточной машины. Чем меньше угол оплетки, тем устойчивее оплетка, лучше внешний вид изделия, больше расход материалов и ниже производительность машин. При увеличении угла теряется механическая устойчивость оплетки, особенно при изгибе изделия. Исследования показали, что механическая устойчивость экранов и лучший экранирующий эффект достигается при $\alpha = 45\text{--}55^\circ$.

3. Обоснование выбранного направления исследования

Перед выполнением лабораторной работы необходимо ознакомиться с конструкцией и принципом работы оплеточной машины, методом выбора (расчета) режима оплетки (1–3), методами определения эксплуатационных свойств оплетки и обработки результатов эксперимента (4, 5).

Для выполнения лабораторной работы необходимо, прежде всего выбрать:

- 1) критерий эксплуатационных свойств оплетки как элемента изделия;
- 2) один из параметров процесса оплетки, влияние которого на эксплуатационные свойства оплетки должны исследовать.

Критериями эксплуатационных свойств оплетки могут служить экранирующая способность и механические свойства к изгибу. Выбор критерия следует проводить на основе анализа функции, выполняемой оплеткой в данном изделии. Если основная функция оплетки – защита изделия от внешних механических воздействий в гибких кабелях, то критерием может служить стойкость к изгибам или разносторонней намотке. Если основная функция оплетки – электромагнитное экранирование, то критерием служит экранирующая способность оплетки.

Выбор параметра процесса оплетки целесообразно провести так, чтобы его легко можно было изменять на оплеточной машине и надежно контролировать. К таким параметрам относится угол оплетки α .

3.1. Задание

Ознакомиться с конструкцией оплеточной машины в целом и каждого узла отдельно, с приборами контроля и управления.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Выписать основные технологические характеристики и начертить кинематическую схему оплеточной машины.
2. Ознакомиться с конструкцией кабельного изделия, на которое должна быть наложена оплетка.

3. По ГОСТу или ТУ установить требования к оплетке данного изделия, материалу оплетки, линейной плотности волокнистых материалов или диаметру проволоки и т. д.
4. Задать 3–4 значения параметра оплетки (например, α) и для каждого рассчитать режим оплетки.
5. Расчет режима целесообразно провести в следующей последовательности:
 - а) определяется теоретический шаг оплетки

$$h_{Ti} = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha_{Ti},$$

где D – диаметр изделия, $D = d_o + 2 \cdot d_{пр}$; α_{Ti} – одно из выбранных значений угла оплетки; d_o – диаметр изделия под оплеткой; $d_{пр}$ – диаметр проволоки или нити, т. е. половина радиальной толщины оплетки;

б) из паспорта машины выбирается практический шаг оплетки (реализуемый на машине), наиболее близкий по величине к теоретическому, т. е.

$$h_{пр} \approx h_T;$$

в) находится практический угол оплетки

$$\alpha_{пр} = \operatorname{arctg} \frac{h_{пр}}{\pi \cdot D};$$

г) выбирается размер нити или проволоки в пряди;

д) определяется количество нитей (проволок) в пряди из выражения (10–12).

Согласно результатам расчета режимов процесса оплетки, составить карту эскизов (технологическую карту) по форме табл. 1. В соответствии с картой (табл. 3) на машине изготовить 3–4 партии изделия (с соответствующей оплеткой).

6. Выбрать критерий эксплуатационных свойств оплеток, лабораторное оборудование и методику для его измерения и оценить влияние на его величину параметров оплетки.
7. Объяснить результаты исследования.
8. Выбрать критерий эксплуатационных свойств оплеток, лабораторное оборудование и методику для его измерения и оценить влияние на его величину параметров оплетки.
9. Объяснить результаты исследования.

Таблица 3

Марка кабеля	Диаметр под оплеткой, мм	Толщина оплетки, мм	Диаметр по оплетке, мм	Диаметр проволоки, мм	Текс. нити	Число проволок в пряди	Шаг оплетки, мм	Сменные шестерни		Расчет. плотность, $N_{пов}$	Скорость оплетки, м/мм
								А	В		

4. Методика эксперимента

4.1. Подготовка образцов

Согласно табл. 1 подготовить на оплеточной машине по 3–5 м оплетенных проводов. Из каждой партии провода нарезать образцы длиной по 200–250 м в количестве 15–20 шт. При этом оплетка образцов должна быть без видимых повреждений и покрывать образец по всей длине.

4.2. Испытание образцов на стойкость к изгибам

Испытание проводов на стойкость к изгибу можно провести в соответствии с ГОСТ 601.654.8–73 на установке, имеющей следующие элементы:

1. Рычаг с зажимом, изгибающий образец на угол не более 1,5–2 рад., вокруг сменных роликов, установленных на станине установки.
2. Механизм, сообщающий рычагу колебательное движение с угловой скоростью не более 1,6 рад/сек.
3. Натяжное устройство с набором грузов.
4. Счетчик изгибов.

Диаметр роликов составляет 20 мм. Образец провода одним концом закрепляется в рычаге, вторым – в натяжном устройстве. Нагрузка, прикладываемая к образцу, берется равной 0,5–10 кг. При испытании провода фиксируется количество двойных изгибов до появления повреждения оплетки или выпучивания изолированной жилы из оплетки. Результаты испытания заносятся в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Партия I	Партия II	Партия III	Партия IV	Примечание
	Кол-во двойных изгибов	Кол-во двойных изгибов	Кол-во двойных изгибов	Кол-во двойных изгибов	

4.3. Обработка результатов эксперимента

Результаты эксперимента, представленные в табл. 2, обрабатываются с помощью методов математической статистики [4, 5].

Определяется среднее значение двойных изгибов $\bar{N}_{из}$ каждой партии, основное отклонение $\bar{\sigma}_{из}$ и коэффициент вариации $\vartheta_{из}$, %:

$$\bar{N}_{из} = \frac{\sum_i^n N_{изi}}{n},$$

где $N_{изi}$ – порядковое значение количества двойных изгибов данной партии; n – число испытанных образцов в партии;

$$\bar{\sigma}_{из} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (N_{изi} - \bar{N}_{из})^2}{n-1}};$$

$$\vartheta_{из} = \frac{\bar{\sigma}_{из}}{\bar{N}_{из}} \cdot 100, \%$$

Значения величин ($\bar{N}_{из}$, $\bar{\sigma}_{из}$, $\vartheta_{из}$) каждой партии заносятся в табл. 5.

Таблица 5

№ партии	$\bar{N}_{из}$	$\bar{\sigma}_{из}$	$\vartheta_{из}$, %

Анализ результатов эксперимента

Влияние параметров режима оплеток на ее стойкость к изгибам можно приближенно оценить, сравнивая статистические характеристики $\bar{N}_{из}$, $\bar{\sigma}_{из}$, $\vartheta_{из}$, однако окончательное заключение можно сделать после оценки средних значений $\bar{N}_{из}$ или дисперсии. Для этой цели применяются критерий (t) [4] или критерий F. Результаты расчета вводятся в табл. 6 и табл. 7.

Таблица 6

№ партии	Сравниваемые значения		$t_{рас}$	$t_{табл}$	Значимость различия
	$\bar{N}_{изi}$	$\bar{N}_{изj}$			

Таблица 7

№ партии	Сравниваемые значения		$F_{рас}$	$F_{табл}$	Значимость различия
	S_i	S_j			

При сравнении расчетных значений критериев $t_{рас}$, $F_{рас}$ со значениями $t_{табл}$, $F_{табл}$, взятыми из таблиц, при $\varepsilon = 0,05$ можно сделать вывод о значимости влияния принятого параметра оплетки на стойкость к изгибу и дать физическое объяснение такого влияния.

5. Вопросы для самоконтроля

1. Поверхностная и линейная плотности. Определение и взаимная связь.
2. Основные технологические параметры оплеток и их взаимная связь.
3. Размеры пряди и линейная плотность.
4. Как влияет угол оплетки на производительность оплеточных машин?

6. Список литературы

1. Белоруссов Н.И., Пешков И.Б. Производство кабелей и проводов. – М.: Энергия, 1981. – 632 с.
2. Пешков И.Б. Обмоточные провода. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.
3. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
4. Румшинский Л.З. Математические обработки результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Оформление отчетов по лабораторным работам производится в соответствии с требованиями СТП ТПУ 2.5.01–99.

Отчет оформляется на бумаге формата А4 в рукописном или машинописном варианте и должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист в соответствии со стандартом СТП ТПУ, с указанием фамилии студента, выполнявшего работу.
2. Цель и задачи работы.
3. Маркоразмер кабельного изделия и его основные параметры.
4. Кинематическую схему, технические характеристики выбранной кабельной машины и ее основные узлы.
5. Основные расчетные формулы и пример расчета с указанием размерности всех величин.
6. Основные размеры и схемы формующего инструмента для экструзионных агрегатов и ЛКНВ.
7. Параметры технологического процесса, при котором изготавливается изделие.
8. Карту эскиза технологического процесса.
9. Таблицу расчетных данных.
10. Анализ и обсуждение полученных результатов.
11. Выводы по работе.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Электротехнический институт

Кафедра ЭИКТ

Отчет по лабораторной работе
СКРУТКА ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Студент _____
(подпись) (дата) (ФИО)

Преподаватель _____
(подпись) (дата) (ФИО)

Томск 20__ г.

Цель работы

Изучение конструкций крутильных машин, методики расчета и реализации режима скрутки токопроводящих жил на крутильных машинах.

Задание

По стандартам или ТУ на кабельное изделие и S_n определить класс и форму жилы.

Порядок выполнения работы

1. Из ГОСТ 22483–77 на ТПЖ находится количество и диаметры проволок жилы для заданного S_n , определяется конструкция жилы: для жил I–III классов – количество повивов, форма скрутки, диаметры повивов, для жил IV–VI классов – количество проволок, стренг, форма скрутки, диаметры стренг и повивов.
2. Выбирать способ скрутки (с откруткой или без открутки).
3. В соответствии с конструктивными данными жилы и способом скрутки выбрать необходимые для скрутки крутильные машины и ознакомиться с их техническими характеристиками.
4. Ознакомиться с конструкциями основных узлов и кинематической схемой машины, системами регулирования скорости тягового устройства и частотой вращения крутильного устройства.
5. Рассчитать режим скрутки, т. е. найти h_p и размеры калибров для каждого повива [2].
6. Скопировать кинематическую схему машины.
7. По кинематической схеме произвести расчет практических шагов скрутки: $h_{прij} = v_{ли} / n_{куj}$, мм.
8. Выбрать практический режим скрутки ($h_{пр}$, $V_{л}$, $n_{ку}$, $n_{ту}$), когда $h_{пр} \approx h_p$ при возможно большей $V_{л}$.
9. Составить карту технологической операции скрутки.
11. Подготовить машину к скрутке жилы, т. е. установить рычаги переключения на коробках передач крутильного и тягового устройств в соответствующие положения, установить калибры и провести скрутку жилы.
12. Проверить соответствие параметров скрученной жилы расчетным значениям.
13. Сделать выводы по работе.

Маркразмер кабельного изделия

Кабельное изделие – СБ 3×150–10 – киловольт кабель, рассчитанный на напряжение 10кВ, с 3-мя медными многопроволочными жилами с $S_{ном} = 150 \text{ мм}^2$, с бумажно-пропитанной изоляцией, в свинцовой оболочке, с многослойными защитными покровами и броней из 2-х стальных лент.

Основные параметры кабельного изделия

- класс гибкости – I;
 - количество проволок – 19; номинальный диаметр равен 3,2 мм;
 - скрутка концентрическая, простая, с откруткой;
 - форма скрутки – первая (1 + 6 + 12);
 - количество проволок в жиле – $3n(n - 1) + 1$;
 - диаметр повива – $(2n - 1)d$,
- где n – номер повива; d – номинальный диаметр проволоки;
- коэффициент заполнения $\xi_3 = 0,75 - 0,79$.

Основной расчет

Рассчитаем диаметр повивов:

$$D_{II} = (2n - 1)d = (2 \cdot 2 - 1) \cdot 3,2 = 9,6 \text{ мм};$$

$$D_{III} = (2n - 1)d = (2 \cdot 3 - 1) \cdot 3,2 = 16 \text{ мм}.$$

Расчетный шаг

$$h_p = m \cdot D,$$

где m – кратность скрутки, $m_{II} = 24$, $m_{III} = 18$; D – диаметр повива.

$$h_{II} = 24 \cdot 9,6 = 230,4 \text{ мм};$$

$$h_{III} = 18 \cdot 16 = 288 \text{ мм}.$$

Диаметр калибра

$$D_k = (2n - 1) \cdot (d + \varepsilon),$$

где ε – допуск, равный 0,02 мм.

$$D_{kII} = (2 \cdot 2 - 1) \cdot (3,2 + 0,02) = 9,66 \text{ мм};$$

$$D_{kIII} = (2 \cdot 3 - 1) \cdot (3,2 + 0,02) = 16,1 \text{ мм}.$$

Для скрутки выбираем 3-клетьевую крутильную машину марки МКРД 1 + 6 + 12 + 18 × 500. Для скрутки данного изделия используем только две первые клетки.

Основные узлы крутильной машины:

- отдающее устройство пинольного типа;
- крутильные клетки 6 × 500; 12 × 500; 18 × 500;
- лентообмотчик;
- привод;
- тяговое устройство с трансмиссией;
- приемное устройство ВМ-2000;
- пневмосистема.

Таблица 1

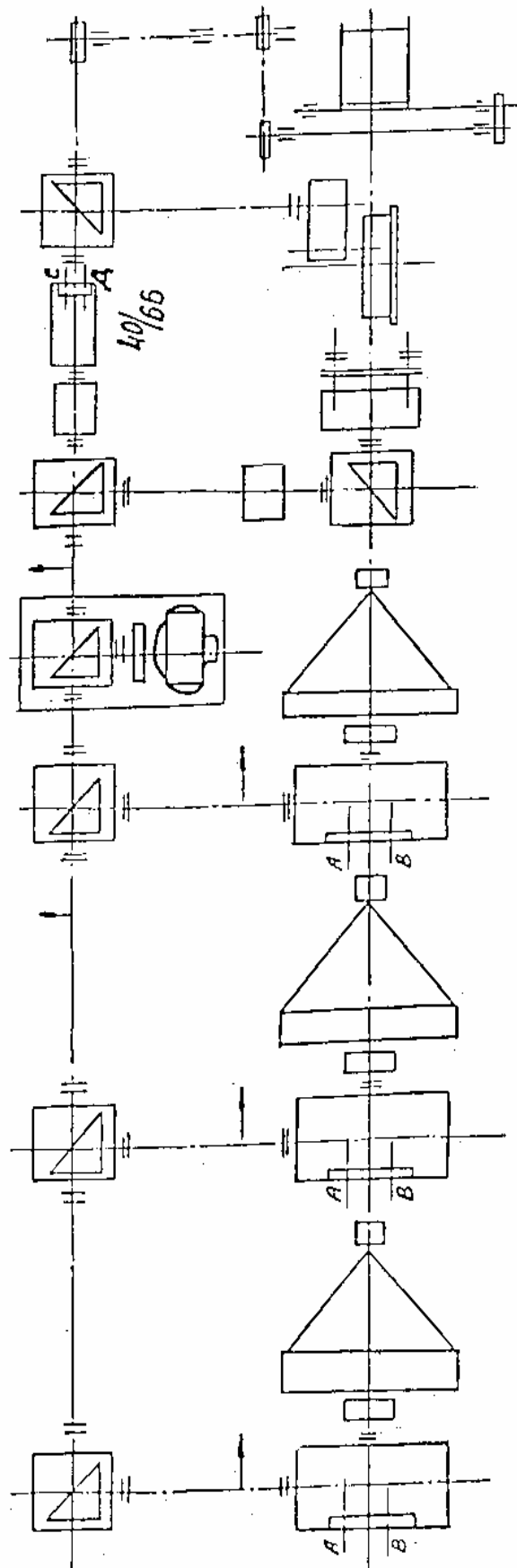
Технические характеристики машины МКРД 1 + 6 + 12 + 18 × 500

№ п/п	Характеристика	Величина
1	Диаметр проволоки, мм	1,5–3,5
2	Диаметр изолированной жилы, мм	2,2–4,5
3	Максимальный диаметр скручиваемого изделия, мм	41
4	Линейная скорость, м/мин	6–36
5	Частота вращения клетки 6×500, мин ⁻¹	57,8; 78,9; 85,2; 98,8; 121,2; 145,7
6	Частота вращения клетки 12×500 и 18×500, мин ⁻¹	46,1; 56,5; 67,9; 78,8; 96,6; 116,1
7	Максимальное тяговое усилие, кгс (кН)	1500 (15)
8	Шаг скрутки, мм	47, 25–843, 88
9	Диаметр тягового колеса, мм	1600
10	Отдающее устройство НАМ-1600	
10.1	Диаметр щек барабанов, мм	800; 1000; 1250; 1600
10.2	Ширина барабанов, мм	480–1800
10.3	Диаметр осевого отверстия, мм	80
10.4	Максимальная масса заполнения, кг	6000
11	Размеры отдающих катушек, мм	
11.1	Диаметр щеки	500
11.2	Диаметр шейки	250
11.3	Расстояние между щек	310
12	Приемное устройство ВМ-2000	
12.1	Диаметр щек барабанов, мм	1000–2000
12.2	Ширина барабанов, мм	700–1250
12.3	Диаметр отверстия под ось, мм	80–1000
12.4	Максимальная масса заполнения, кг	8000

По технологической инструкции на машину выбираем практический шаг скрутки $h_{\text{пр}} \approx h_p$, по возможности при большей линейной скорости.

$$h_{\text{IIпр}} = 231,4 \text{ мм}; n_{\text{дв}} = 1000 \text{ об/мин}; V_{\text{IIлин}} = 18,7 \text{ мин}^{-1}; n_{\text{IIклет}} = 80,8 \text{ мин}^{-1}.$$

$$h_{\text{IIIпр}} = 290,5 \text{ мм}; n_{\text{дв}} = 1000 \text{ об/мин}; V_{\text{IIIлин}} = 18,7 \text{ мин}^{-1}; n_{\text{IIIклет}} = 70,8 \text{ мин}^{-1}.$$



Число оборотов крутильных клетей

Сменные шестерни A/B	Клеть	Ступень	Число оборотов
151/53	6-шпульн.	1	46,0
		2	63,0
		3	90,5
		4	124,0
134/70	12-шпульн.	1	30,9
		2	42,5
		3	60,7
		4	83,5
129/75	18-шпульн.	1	27,8
		2	38,0
		3	54,5
		4	75,0

Летнообмотчик

Ступень	Число оборотов
1	200 (50)
2	300 (75)
3	400 (100)

Для обеспечения синхронности в фонарях ставятся сменные шестерни последующих фонарей

Рис. 1. Кинематическая схема крутильной машины клетьевого типа МКРД 6+12+18×500

Ступень редуктора – 7.

Положение рычагов – 12 21 31 42 52.

$V_{\text{лин}} = 18,7 \text{ мин}^{-1}$.

$n_{\text{дв}} = 1000 \text{ об/мин}$.

На рис. 1 представлена кинематическая схема крутильной машины марки МКРД 6 + 12 + 18 × 500.

Все расчеты сводим в табл. 2.

Таблица 2

Карта эскизов скрутки проволок в жилу на крутильной машине клетьевого типа МКРД 6 + 12 + 18 × 500

Номинальное сечение жилы, мм ²	Число проволок в жиле	Система скрутки жилы	Диаметр проволоки (стренги), мм	Клеть 6×500					Клеть 12×500						
				Расчетный диаметр повива, мм	Диаметр калибра, мм	Частота вращения клетки, об/мин	Направление скрутки	Шаг скрутки, мм	Расчетный диаметр повива, мм	Диаметр калибра, мм	Частота вращения клетки, об/мин	Направление скрутки	Шаг скрутки, мм	Ступень редуктора	$V_{\text{лин}}$, м/мин
150	19	Концентрическая 1+6+ 12	3,2	9,6	9,66	80,8	левое	231,4	16	16,1	70,8	правое	290,5	7	18,7

Заключение

В ходе лабораторной работы были изучены конструкции крутильных машин, методики расчета режимов скрутки ТПЖ на крутильных машинах, выбран способ скрутки, определены радиальные размеры, выбрана крутильная машина клетьевого типа марки МКРД 1+6+12+18×500, которая позволила осуществить концентрическую скрутку жил с откруткой. Для скрутки данной конструкции использовали только две первые клетки. По данным технологической инструкции выбрали практический шаг скрутки (самое близкое значение к расчетному значению шага). По результатам расчета была составлена карта эскизов скрутки.

Содержание

Предисловие	3
Лабораторная работа № 1	4
ОТЖИГ	
Лабораторная работа № 2	9
СКРУТКА ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
Лабораторная работа № 3	15
ИЗОЛИРОВАНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ОБМОТКИ	
Лабораторная работа № 4	20
ЭКСТРУЗИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ	
Лабораторная работа № 5	33
ЛКНВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКОЙ	
Лабораторная работа № 6	43
ОПЛЕТКА КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	
Требования к оформлению и форма отчета по лабораторной работе	51

Учебное издание

АНИКЕЕНКО Владимир Михайлович
МАРЬИН Сергей Сергеевич
АНИСИМОВА Ольга Александровна

ОСНОВЫ КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Основы кабельной техники» для студентов IV курса,
обучающихся по направлению
140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»

Научный редактор

кандидат технических наук,
доцент

А.П. Леонов

Редактор

М.В. Пересторонина

Верстка

Д.В. Сотникова

Дизайн обложки

*О.Ю. Аршинова
О.А. Дмитриев*

Подписано к печати 29.09.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать Хероx. Усл. печ. л. 3,43. Уч.-изд. л. 3,11.

Заказ 784. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.