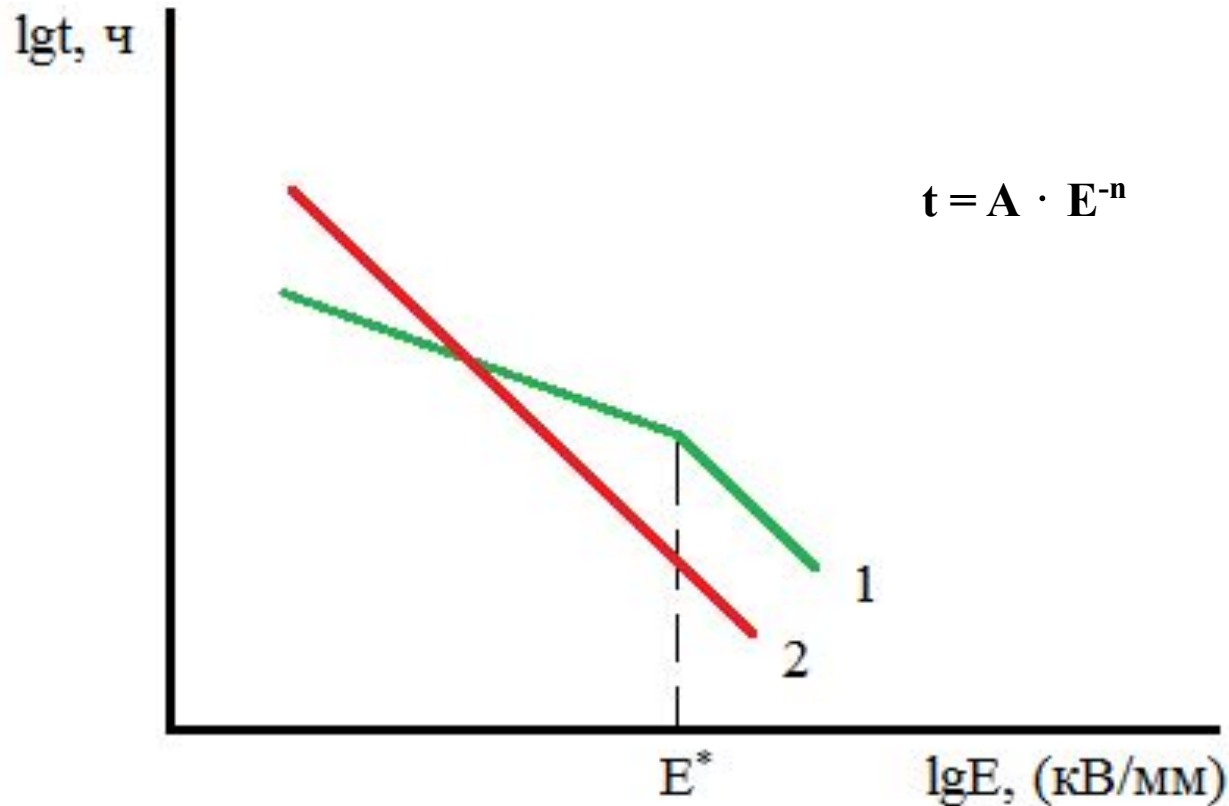


Композиционные материалы для изоляции электрических машин

Композиционные материалы для ИЭМ

- материалы на основе слюды и слюдобумаг
- материалы на основе синтетических пленок



$n = 2 \dots 4$ – для пленочных полимеров

$n = 10 \dots 15$ – для слюдосодержащих систем изоляции

A – вид изоляции, размер, качество изготовления – статистическое распределение долговечности при неизменных условиях испытаний

Слюдосодержащие композиционные материалы

Ленточные



Непрерывная конструкция



1. Предварительно пропитанные
2. Непропитанные (сухие)

Листовые

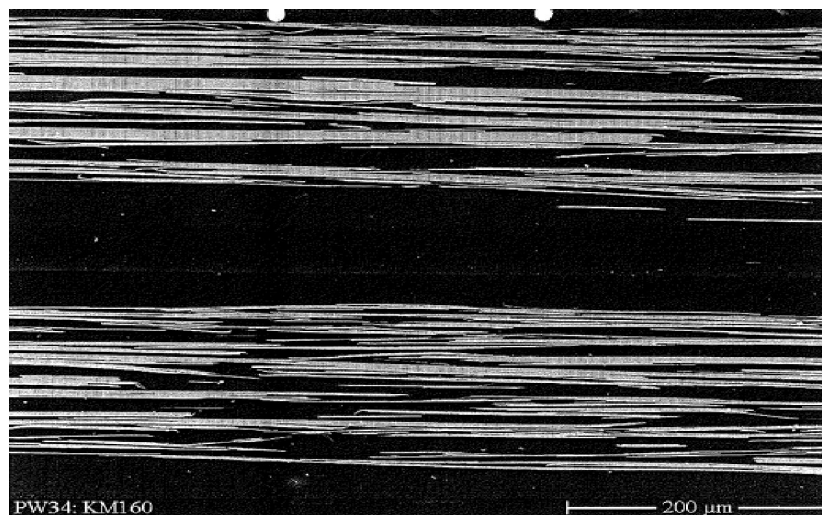


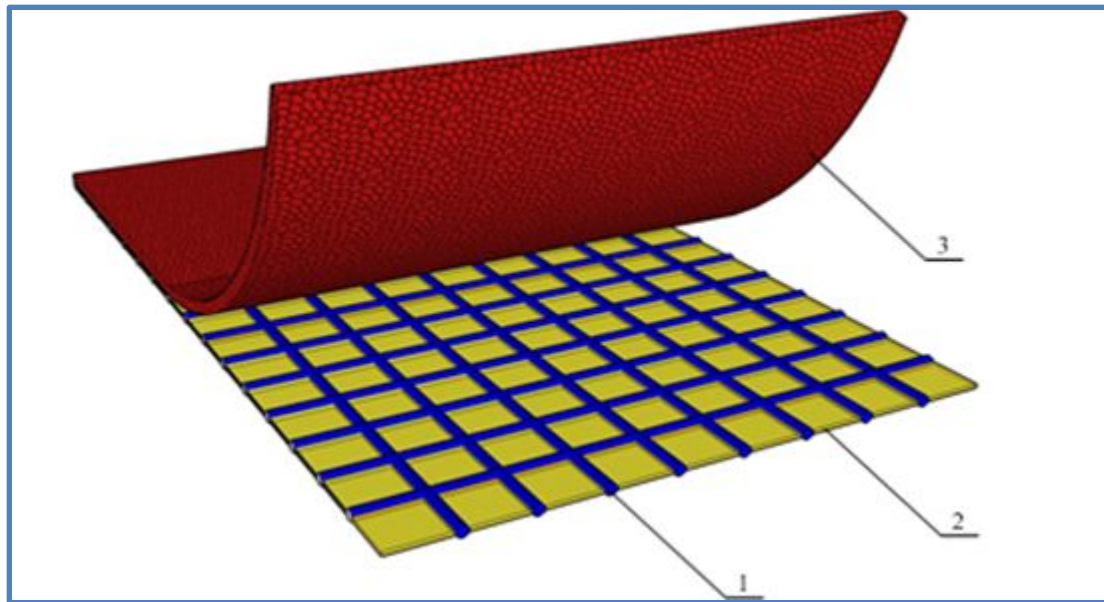
1. Гибкие  гильзовая конструкция

2. Прокладочные
3. Коллекторные
4. Формовочные

Почему слюдобумага?

- Высокая электрическая прочность
- Стойкость к коронному/частичному разрядам
- Химически инертная
- Высокая температурная стабильность
- Достаточная теплопроводность ($0,3 - 0,7 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$)





Состав:

1. Слюда - слюдобумага
2. Стеклоткань
3. Связующее
4. Полимерная пленка

Слюдосодержащие композиционные материалы



$t = 8 \cdot 10^8$ лет



$t = 10^6$ лет

$E = 10$ МВ/м

ТИ = 500 – 900 °С

Диэлектрические свойства слюд (20°С, h ≤ 100 мкм)

Тип слюды	Свойства при $E \perp C^*$					Свойства при $E \parallel C^*$		
	$\rho_v, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\varepsilon, \text{ 1МГц}$	$10^4 \text{ tg}\delta$		$E_{\text{пр}}, \text{ кВ/мм}$	$\rho_v, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\varepsilon, \text{ 1МГц}$	$\text{tg}\delta$
			50 Гц	1 МГц				
мусковит	$10^{12} - 10^{14}$	6 – 8	4 - 80	1 – 6	100 - 200	$10^6 - 10^8$	11 – 16	~ 0,1
флогопит	$10^{10} - 10^{11}$	5 – 7	60 – 150	2 – 40	70 - 160	-	24 – 46	~ 0,1

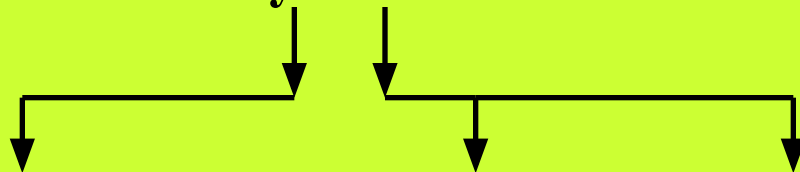
* - плоскость совершенной спайности

Слюдабумага

Слюда

Мусковит

Флогопит



Процесс дезинтеграции

Термо-химический механический

Гидромеханический

Слюдабумага

Кальцинированная

Некальцинированная

Тип 1

Тип 2

Тип 3

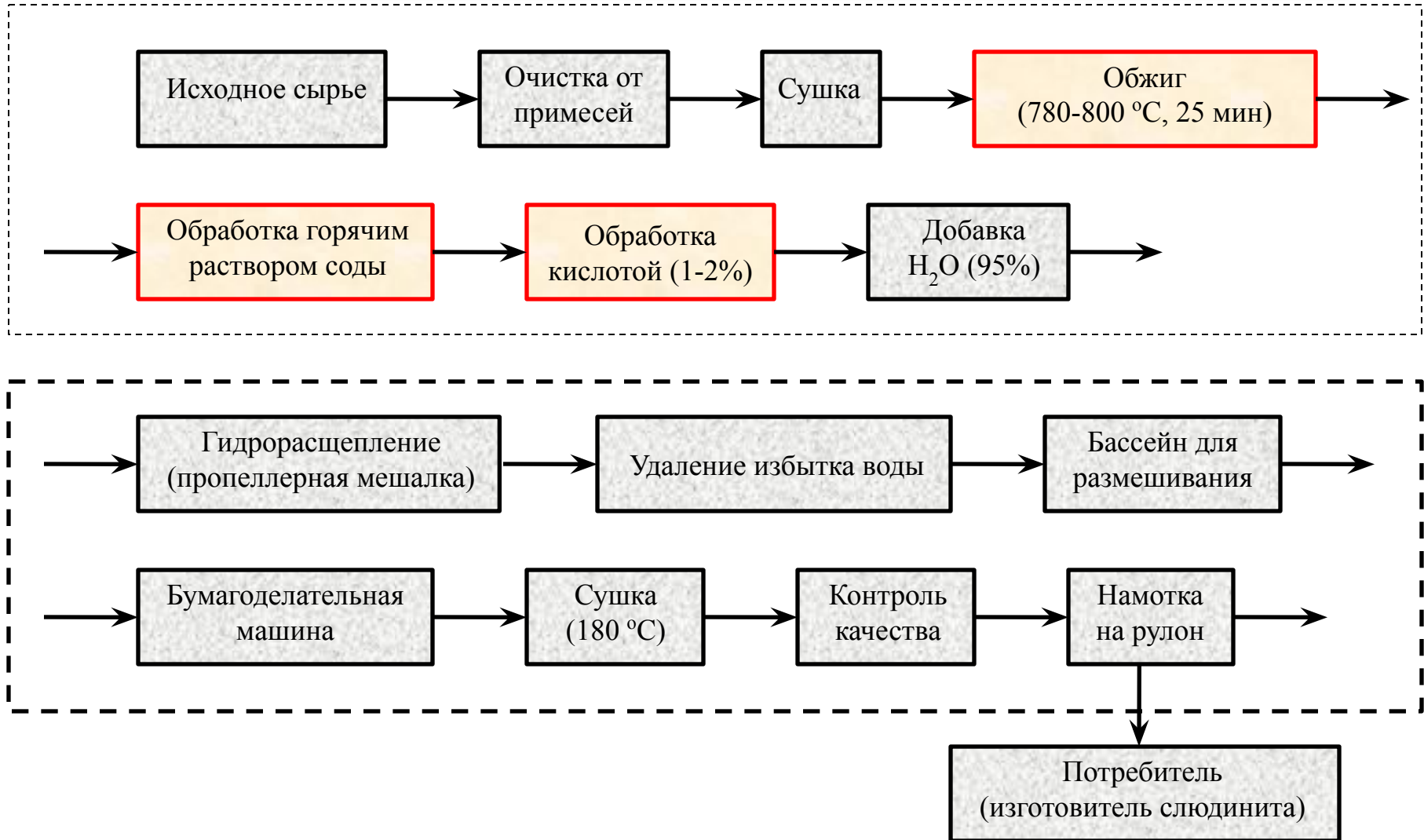
Тип 4

Слюдинитовая

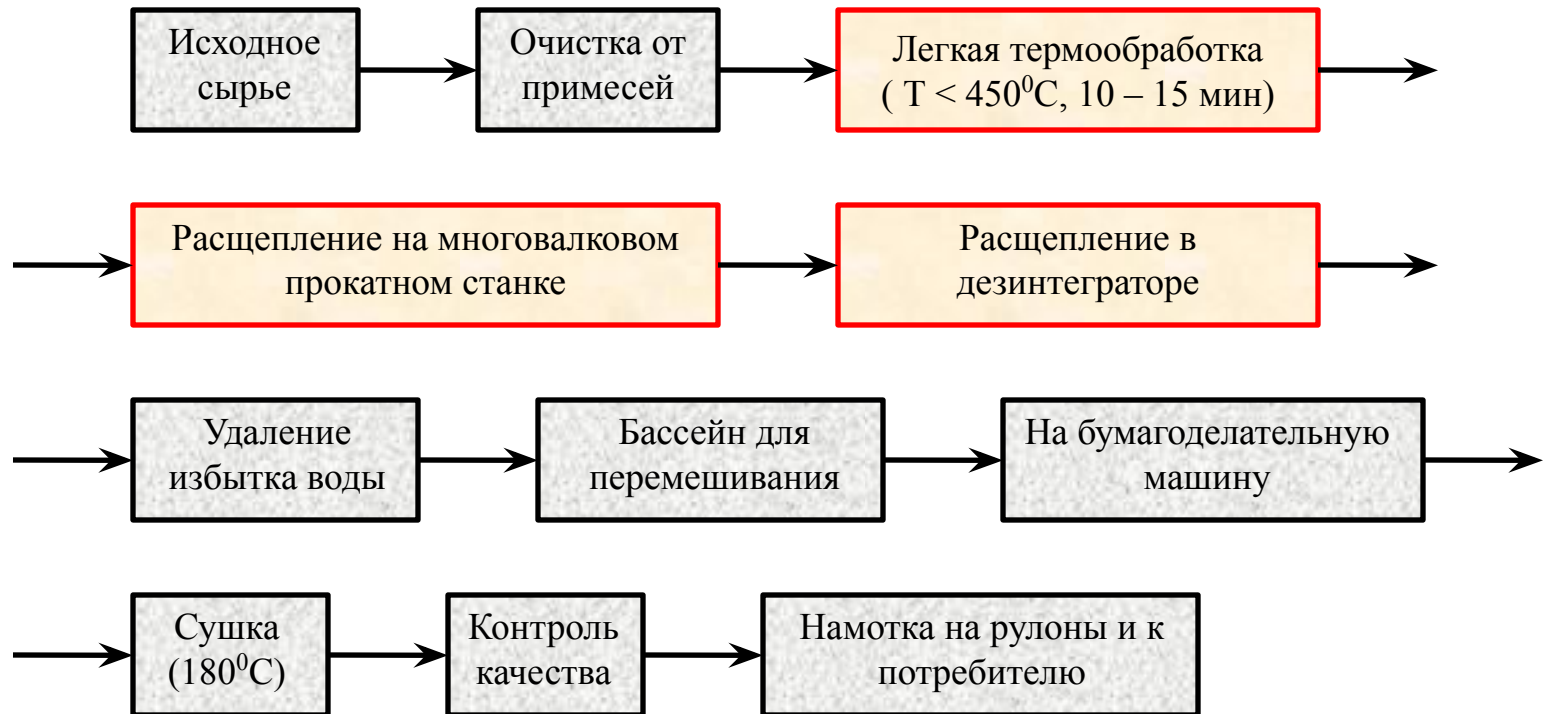
Слюдопластовая

Наименование материала	Тип	Состав	Поверхностная плотность, г/м ²
Элмика	2	Кальцинированный мусковит	45-160
	3	Некальцинированный мусковит	80-250
	4	Некальцинированный флогопит	70-250
	5*	Кальцинированный мусковит	45-160
* Тип бумаги разработан компанией «Элинар»			

Технологическая схема получения слюдинитовой бумаги (самика 21, ремика, кожемика ТМ)



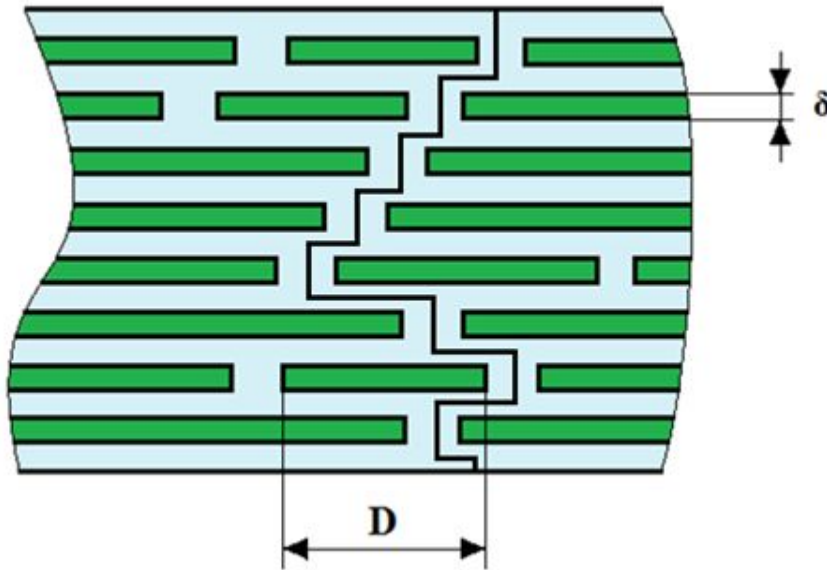
Технологическая схема получения слюдопластовой бумаги (самика 32, кожемика ММ, интегрированная слюда)



Свойства слюдобумаги

	Ед-ца	Кальцинированная мусковитная	Некальцинированная мусковитная	Некальцинированная флогопитная
Вес	г м ⁻²	50...180	80...250	80...325
Толщина	10 ⁻³ мм	35...125	60...180	50...200
Размер частиц	мм	<u>0.015 -1</u>	<u>0.03-2.5</u>	
Пористость МЭК 60371-2	сек/100 мл	<u>1000...7500</u>	<u>100...600</u>	200...500
Пропитываемость МЭК 60371-2	сек	<u>30...250</u>	<u>8...120</u>	10...250
Проводимость	мрсм ⁻¹	20...70	10	10
Прочность на разрыв	Н см ⁻¹	5...12	3...10	4...10
Плотность	г см ⁻³	1,41..1,45	1,45..1,52	1,40..150
Сцепление частиц	Н см ⁻²	0.8..2,5	0,2..0,8	0,3..0,8
Гибкость	Н м ⁻¹	10..15	15..25	10..20
Электрическая прочность	кВ/мм	15..30	15..20	15..20

Механизм образования пробоя в одном слое слюдопласта



$$\delta = 0,2 \div 3 - 4 \text{ мкм}$$

$$E_{np} = \frac{U_{в.з.}}{\delta} \cdot \left(\gamma + \frac{1 - \gamma}{\epsilon_{сл}} \right)$$

$U_{в.з.}$ – напряжение зажигания воздуха

δ – толщина чешуйки

γ – относительная общая толщина
воздушной прослойки

$\epsilon_{сл}$ – диэлектрическая проницаемость слюды

$K = D/\delta$ – характеристическое отношение

Слюдиниты $K = 250$ $D = 200 - 400$ мкм

Слюдапласты $K = 350 - 400$ $D = 500 - 1000 (2500)$ мкм

Стеклоткань

Обеспечивает механическую прочность, является носителем связующего;
Минимальное значение разрушающего напряжения при растяжении 80 Н/см.

Преимущества

Высокая прочность при растяжении

Тепло- и огнестойкость

Химостойкость

Влагостойкость

Термические свойства

Электрические свойства

Недостатки

Малое удлинение (хрупкость)

Нестойкость к истиранию;

Большая плотность (2500 кг / м³);

Низкая стойкость к атмосферной влаге (влага разрыхляет поверхность волокна)

Состав бесщелочного стекла

Окись	Бесщелочное стекло
SiO_2	54
Al_2O_3 (+ F_2O_3)	15
B_2O_3	8% массы
CaO	18,5
MgO	4
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0,5

Свойства промышленных бесщелочных стеклоэлементарных нитей

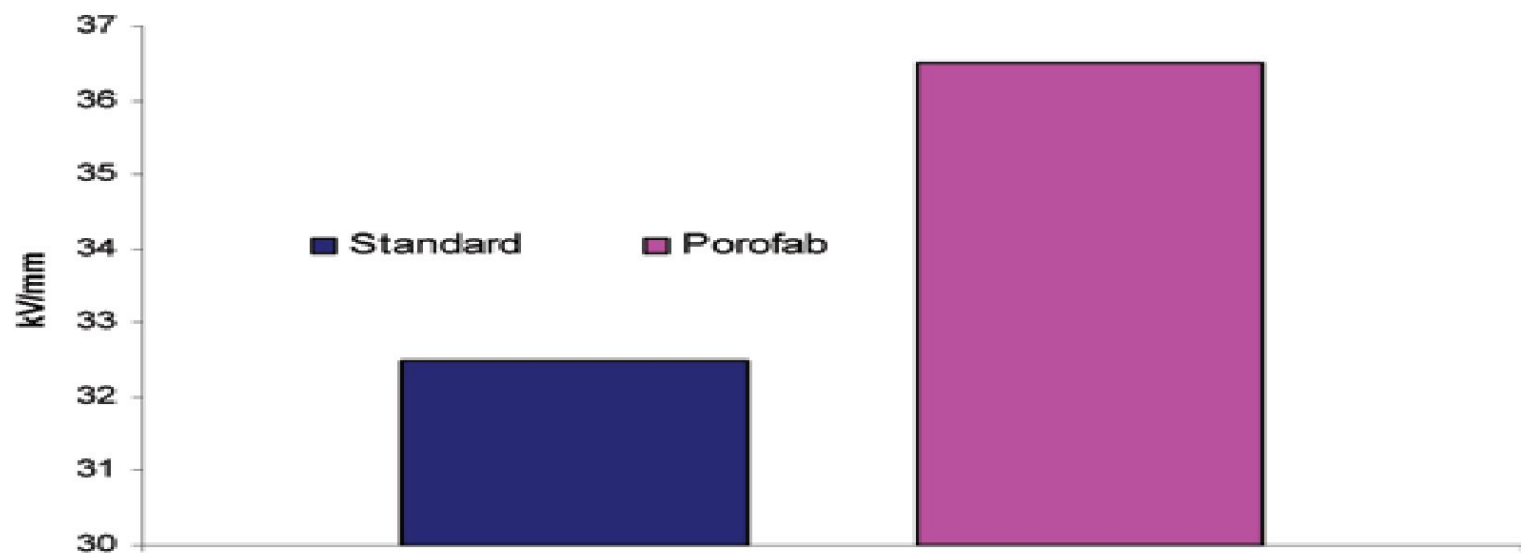
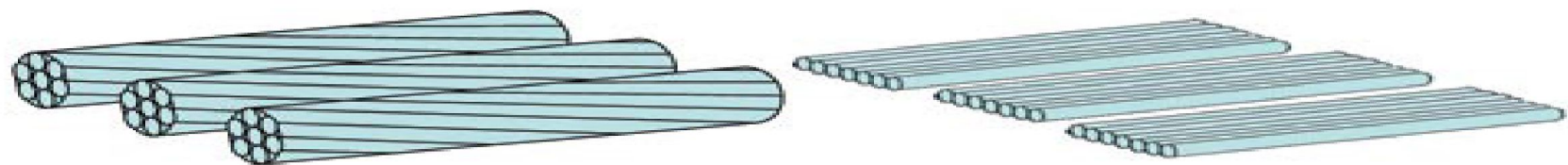
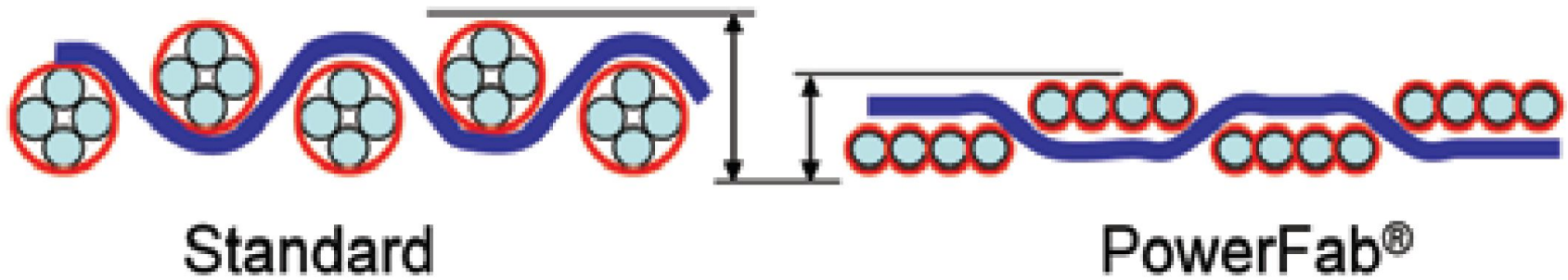
Характеристика	Значение
Предел прочности при растяжении	1...1,5 кН/мм ²
Модуль упругости	68...77 кН/мм ²
Коэффициент теплопроводности	~ 1 Вт/мК
Коэффициент линейного расширения	$4,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$
Диэлектрическая проницаемость ϵ	~ 6,3
$\text{tg}\delta$ (20 – 200 ⁰ С)	0,002
Удельное объемное сопротивление ρ	~ 10^{14} Ом·см

Свойства стеклянных волокон

Свойство	УП	ВМП	Е	S	T
	(Россия)		(США)		(Япония)
Плотность, кг/м ³	2470	2560	2540	2490	2490
Модуль упругости, ГПа	85	95	74	87	86
Удлинение при разрыве, %	5,6	4,8	4,7	5,4	5,1
Коэффициент линейного теплового расширения КТР·10 ⁷ , 1/град	26	35	51	29	28
Диэлектрическая проницаемость при 10 ⁷ Гц	5,18	5,93	6,23	5,21	5,20
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 ¹⁰ Гц	0,008	0,010	0,011	0,007	0,026

Е (electrical) – низкой электрической проводимости;

- S (strength) – высокой прочности



Состав слюдосодержащих лент (%)

- Пропитанные ленты

- СБ 47 ± 4

- СВ 41 ± 5

- СТ 12 ± 1

- Непропитанные ленты

- СБ 84 ± 65

- СВ 8 ± 3

- СТ 8 ± 1

В обозначении марок лент Элмикапор и Элмикатерм цифры означают

ленточный слюдяной материал - 5

слюдяная бумага тип 2 - 2

слюдяная бумага тип 3 - 3

слюдяная бумага тип 5 - 5

полиэфирно-эпоксидное связующее -

эпоксидное связующее - 4

кремнийорганическое связующее - 5

полиуретановое связующее - 8

полиакрилатное связующее - 9

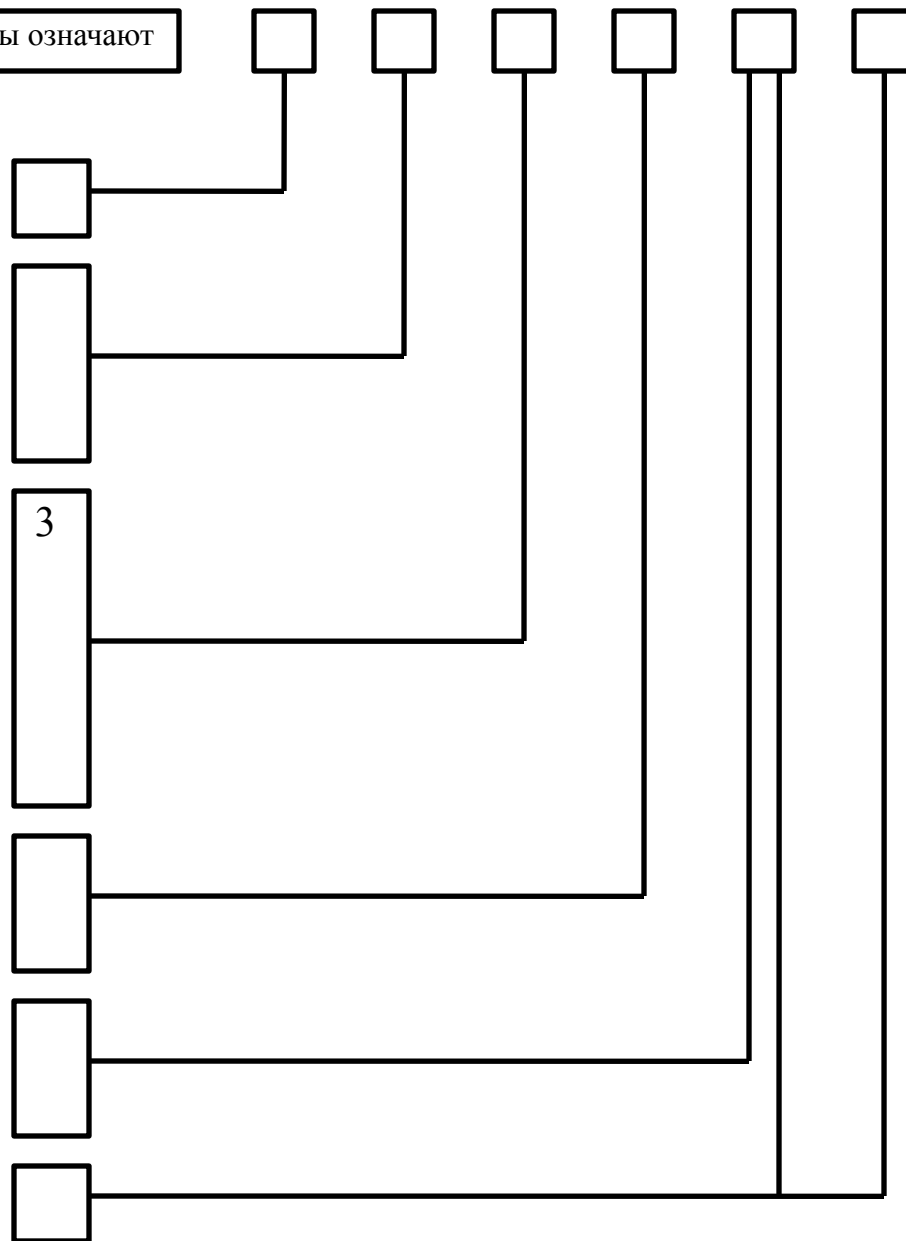
не модифицированное связующее - 0

модифицированное связующее - 1

пленка полиэфирная - 1

пленка полиимидная - 2

стеклоткань - 9



Непропитанные ленты для технологии вакуум-нагнетательной пропитки

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение			
		Элмикапор 523119 на основе слюдяной бумаги Элмика тип 2, с лавсановой пленкой		Элмикапор 53309 на основе слюдяной бумаги Элмика тип 3	
Толщина	мм	0,10±0,02	0,11±0,02	0,12±0,015	0,14±0,02
Поверхностная плотность	г/м ²	130±12	140±14	168±15	190±17
Слюдяная бумага	г/м ²	65±4	65±4	120±13	140±13
Связующее вещество	г/м ²	10,0±3,0	10,0±3,0	8±5	10±6
Стеклоткань	г/м ²	27±3	27±3	38±4	
Полиэфирная пленка	г/м ²	28±3	28±3	-	
Летучие вещества, не более	%	0,5		0,5	
Содержание ускорителя аминного типа*	%	-		(0,3±0,1)	
Пробивное напряжение, не менее	кВ	5,0	5,0	1,5	1,5
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-	F		F, H	
*Ленты могут поставляться с ускорителем или без ускорителя					

Предварительно пропитанные ленты

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение			
		Элмикатерм 55409 на основе слюдяной бумаги Элмика тип 2		Элмикатерм 52409 на основе слюдяной бумаги Элмика тип 2	
Толщина	мм	0,14±0,02	0,18±0,02	0,14±0,02	0,18±0,02
Поверхностная плотность	г/м ²	185±25	250±40	195±25	250±25
Слюдяная бумага	г/м ²	85±5	120±6	85±5	120±6
Стеклоткань	г/м ²	38±4	38±4	38±4	38±4
Связующее вещество	г/м ²	62±10	92±20	72±14	92±20
Летучие вещества, не более	%	1,5		1,5	
Средняя электрическая прочность, не менее	кВ/мм	25	25	25	25
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более		0,02		0,02	
- при 15-35 ⁰ С		0,25		0,09	
- при 155 ⁰ С					
Текучесть	%	40-70		40-70	
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-	F		F	
Гарантийный срок хранения					
- при 15-35 ⁰ С	месяц	3		3	
- при 5 ⁰ С		6		6	

Базовый вариант ленты Элмикатерм 55409 состоит из следующих

компонентов:

- стеклолента ЭЧ-30, плотность – 27 г/м²;
- слюдобумага СБ-3, плотность – 160 г/м²;
- связующее;
- катализатор.

Компонент, об. %.	Элмикатерм 55409	Элмикатерм 52409
Эпоксидная новолачная смола марки DEN438	84 ... 85	98 ... 99
Катализатор	1 ... 2	1 ... 2
Диановая смола ЭД 22	10	0
Олеиновая кислота	6	0

- эпоксидные новолачные смолы марок DEN 438, производства “Dow Chemical” или Araldit EPN 1180 (1138) производства “Vantico” (98-99 %);

- катализатора HZ 5933 (смесь BF₃ с бензиламином).

Предварительно пропитанные ленты

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение					
		ЛСЭП -934-ТПл на основе слюдяной бумаги Элмика тип 2, с полиэфирной пленкой				ЛСУ на основе слюдяной бумаги Элмика тип 2, с полиэфирной пленкой	
Толщина	мм	0,08±0,01	0,10±0,01	0,11±0,01	0,13±0,01	0,10±0,01	0,13±0,02
Поверхностная плотность	г/м ²	110±14	147±20	155±25	184±25	145±30	175±30
Слюдяная бумага	г/м ²	40±2	55±3	60±3	65±4	50±3	50±3
Стеклоткань	г/м ²	27±3	38±4	38±4	38±4	38±4	38±4
Полиэфирная пленка	г/м ²	14±2	14±2	14±2	28±3	14±2	28±3
Связующее вещество	г/м ²	29±7	40±10	43±16	53±14	43±8	59±20
Летучие вещества, не более	%	1,3-4,0				1,5, не более	
Средняя электрическая прочность, не менее	кВ/мм	45	45	45	45	35	45
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более - при 15-35 ⁰ С - при 155 ⁰ С				- -		0,02 0,40	
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-			F		F	
Гарантийный срок хранения - при 15-35 ⁰ С - при 5 ⁰ С	месяц			5 -		12 24	

Листовые материалы

В обозначении марок слюдопластов Элмикапласт и Элмикафлекс цифры означают

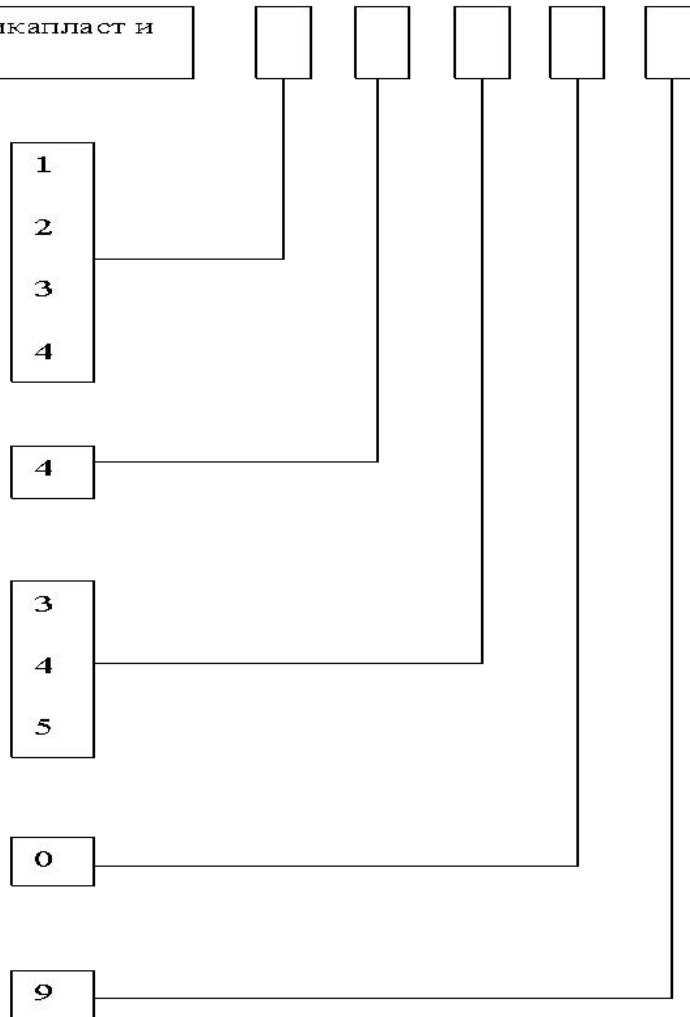
- коллекторный слюдяной материал
- прокладочный слюдяной материал
- формовочный слюдяной материал
- гибкий слюдяной материал

- слюдяная бумага тип 4

- полиэфирно-эпоксидное связующее
- эпоксидное связующее
- кремнийорганическое связующее

- не модифицированное связующее

- стеклоткань



Коллекторные листовые материалы

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
		КИФЭ	КИФК
Толщина	мм	0,40-1,50	0,40-1,50
Связующее вещество, не более	%	7,5	8,0
Суммарная усадка, не более	%	12,8 для толщин 0,40-0,70мм 7,0 для толщин 0,80-1,50	7,0
Средняя электрическая прочность, не менее	кВ/ мм	22	24
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-	F	H
Гарантийный срок хранения - при 15-35 ⁰ С	месяц	6	6

- Элмикапласт 1440

Прокладочные листовые материалы

- ПФК
- ПФГ
- ПИФЭ
- ПИФК
- Элмикапласт 1440

Формовочные листовые материалы

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
		Элмикаформ	
		323 Т	323 Пл
Толщина	мм	0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	
Неорганическая часть, не менее	%	-	70
Электрическая прочность, не менее - средняя - в отдельных точках	кВ/ мм	30 25	50 35
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-	F	
Гарантийный срок хранения - при 15-35 ⁰ С	месяц	6	

- ФФК ФФП ФИФК

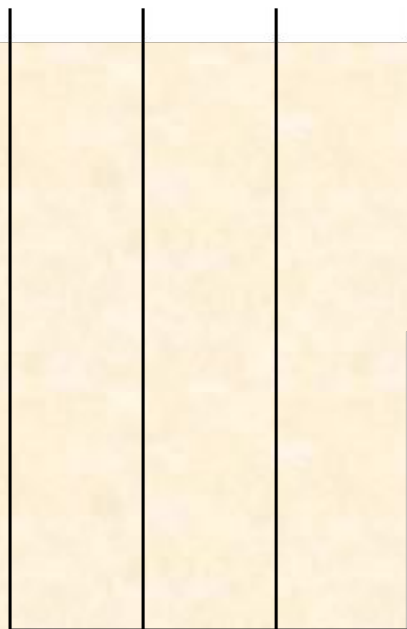
Гибкие листовые материалы

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение			
		Элмика на основе слюдяной бумаги Элмика тип 4		Элмикафлекс на основе слюдяной бумаги Элмика тип 4	
Толщина	мм	0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,43; 0,45; 0,50; 0,60	0,25; 0,32; 0,35; 0,40; 0,43; 0,45; 0,50; 0,60	0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,43; 0,45	0,25; 0,32; 0,35; 0,40; 0,43; 0,45; 0,50; 0,60
Связующее вещество, не более	%	42	30	25	25
Летучие вещества, не более	%	1,5			
Средняя электрическая прочность, не менее	кВ/ мм	30	24	22	22
Класс нагревостойкости в системе изоляции	-	F	H	F	H
Гарантийный срок хранения - при 15-35 ⁰ С - при 5 ⁰ С	месяц	6 12		6 -	

- ГИП-Т-СПл ГФК ГИП-2Пл

Материалы на основе полимерных пленок

X X X A



Г – гидролитически стойкий

П – пропитанный

Ф – межфазная изоляция

1 – пленка полиэтилентерефталатная

2 – пленка полиимидная

4 – электроизоляционный картон

5 – бумага полиэфирная

6 – бумага из смеси полиэфирных и арамидных волокон

8 – бумага арамидная

9 – ткань из стеклянного волокна

Электроизоляционные материалы для систем изоляции низковольтных электродвигателей общепромышленного и специального исполнения

Тип изоляции	Наименование материала	Композиционный состав	Класс нагревостойкости
Пазовая изоляция низковольтных электрических машин для ручной изолировки	Изофлекс 191 Имидофлекс 292 Имидофлекс 929	ПЭТ*+стеклоткань+ПЭТ ПМ**+стеклоткань+ПМ Стеклоткань + ПМ + стеклоткань	F H H
Пазовая изоляция, крышка-клин, межслойные прокладки электрических машин малой мощности для механизированной изолировки статоров	Синтофлекс 141 Синтофлекс 41	ПЭТ+электрокартон+ПЭТ Электрокартон+ПЭТ	B E
Пазовая изоляция, крышка-клин, междуслойная изоляция	Синтофлекс 515 Синтофлекс 515П Синтофлекс 61 Синтофлекс 818 Синтофлекс 81	Полиэфирная бумага+ ПЭТ+полиэфирная бумага Полиэфирная бумага+ПЭТ с двусторонней пропиткой смолой Полиэфирно-aramидная бумага + ПЭТ Арамидная бумага+ПЭТ+ арамидная бумага Арамидная бумага +ПЭТ	B, F F F F F
Пазовая, межфазная изоляция, изоляция полюсных катушек, пригодна для ручной изолировки статоров, гидrolитически стойкая изоляция	Синтофлекс 82 Синтофлекс 82Г	Арамидная бумага+ПМ Арамидная бумага+герметик +ПМ+герметик	H H
Межфазная, межслойная изоляция, изоляция межкатушечных соединений	Синтофлекс 616Ф Синтофлекс 818Ф	Полиэфирно-aramидная бумага+ПЭТ+полиэфирно-aramидная бумага Арамидная бумага+ПЭТ+ арамидная бумага	F F
Пазовая изоляция стержневых обмоток	Синтофол 61	Полиэфирно-aramидная бумага+лакированная ПЭТ	F
<p align="center">*ПЭТ – полиэтилентерефталатная пленка **ПМ - полиимидная пленка</p>			