

# Конструкционные и функциональные волокнистые композиты

*Микрюков Константин Валентинович  
тел. 231-89-39, e-mail: [mikrukov@kstu.ru](mailto:mikrukov@kstu.ru)*

# СТЕКЛЯННЫЕ ВОЛОКНА

- Природа СВ и способы получения
- Виды и формы СВ
- Основные свойства СВ
- Ассортимент и применение
- Высокосиликаты (кварцевые волокна)

# Природа стекла

Стекло является аморфным материалом

т.е. не обладает кристаллической структурой твердого тела, и не обладает текучестью, проявляющейся в жидкостях.

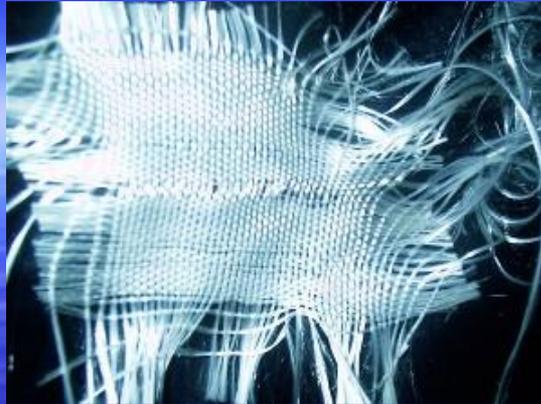
Химически стекла состоят в основном из кремнеземной ( $\text{SiO}_2$ ) основы, существующей в виде полимерных цепочек ( $\text{— SiO}_4 \text{—}$ ).

Диоксид кремния требует высоких температур для размягчения и вытягивания.

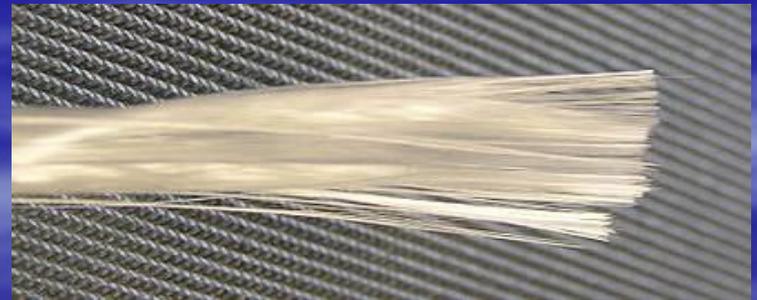
Состав стекла модифицируют (получение стекол с определенными свойствами и приспособление к нуждам технологии).

# Состав стекловолокон, %

Состав	Марка стекла			
	А (высокощелочное)	С (химически-стойкое)	Е (электроизоляционное)	С (высокопрочное)
Окись кремния	72,00	64,6	54,3	64,20
Окись алюминия	0,6	4,1	15,2	24,80
Окись железа	—	—	—	0,21
Окись кальция	10,00	13,2	17,2	0,01
Окись магния	2,5	3,3	4,7	10,27
Окись натрия	14,2	7,7	0,6	0,27
Окись калия	—	1,7		—
Окись бора	—	4,7	8,0	0,01
Окись бария	—	0,9	—	0,20
Прочие вещества	0,7	—		—.



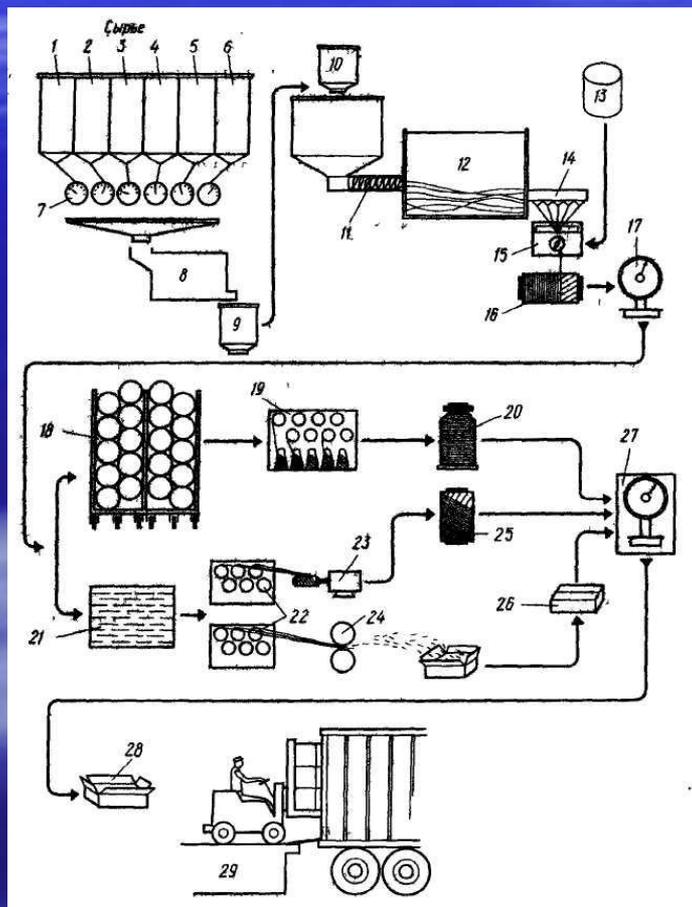
# Основы технологии производства стекловолокна



# Технология получения

- вытягивание волокон из расплавленной массы через фильеры (одностадийный процесс)
- вытягивание волокон из стеклянных штабиков при их разогреве (двухстадийный процесс)
- получение штапельного волокна путем расчленения струй стекломассы под воздействием центробежных сил или потоков воздуха, газа, пара.

# Схема одностадийного получения стекловолокна

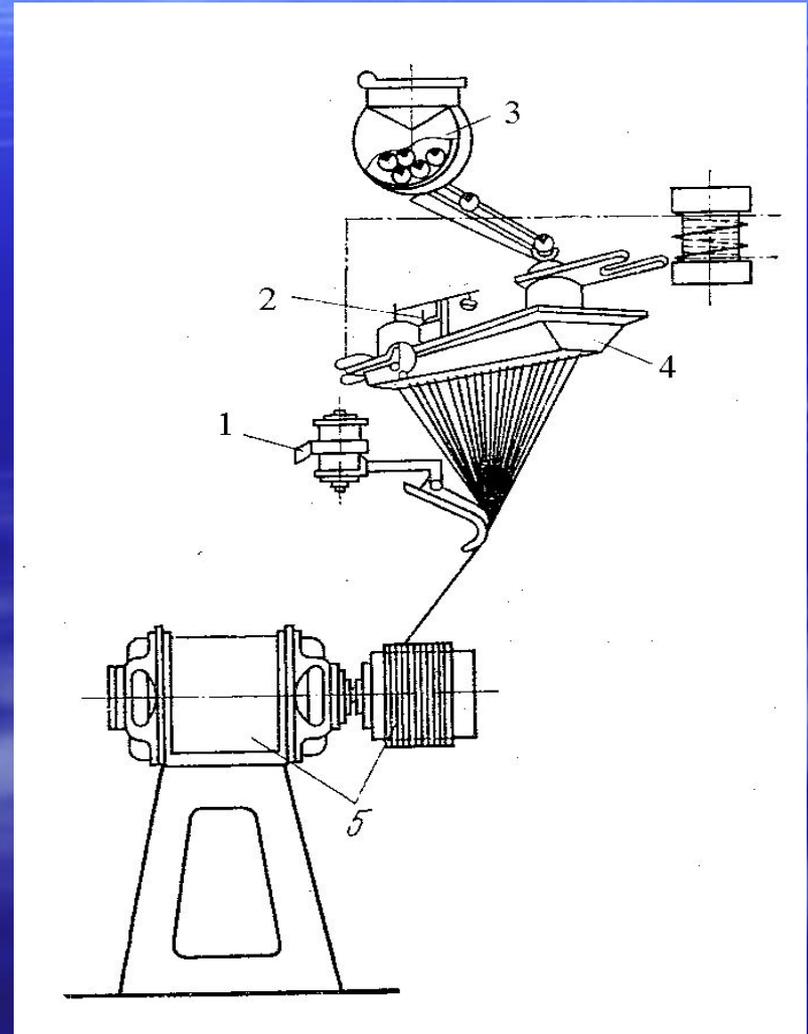


- 1 - глина; 2 - известняк; 3 - уголь; 4 - кварцевый песок; 5 - флюорит; 6 - борная кислота; 7 - автоматические дозаторы; 8 - смеситель; 9, 10 - бункера; 11 - шнековый питатель; 12 - ванна; 13 - секция приготовления замасливателя (шлихты); 14 - платиновые фильеры (бушинги с электронагревом и автоматическим управлением); 15 - замасливатель; 16 - высокоскоростное намоточное устройство; 17, 27 - посты контроля и взвешивания; 18 - камера для кондиционирования волокна; 19 - крутильные машины; 20 - участок отделки и упаковки пряжи; 21 - участок термообработки; 22 - шпулярники; 23 - намоточная машина для ровинга; 24 - резальная машина; 25 - ровинг; 26 - резаное волокно (штапель); 28 - участок упаковки; 29 - участок отгрузки продукции

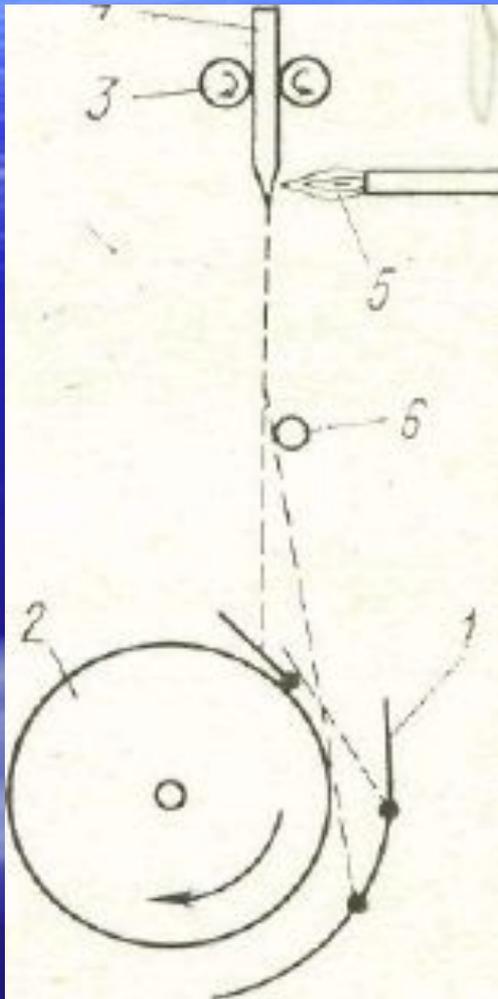
# Фильтерный способ

Основан на вытягивании волокон из расплавленной массы через фильеры и наматывании вытягиваемого волокна.

Расплавленное стекло под давлением силы тяжести вытекает из печи через фильеры в виде капель, которые вытягиваются в волокна.

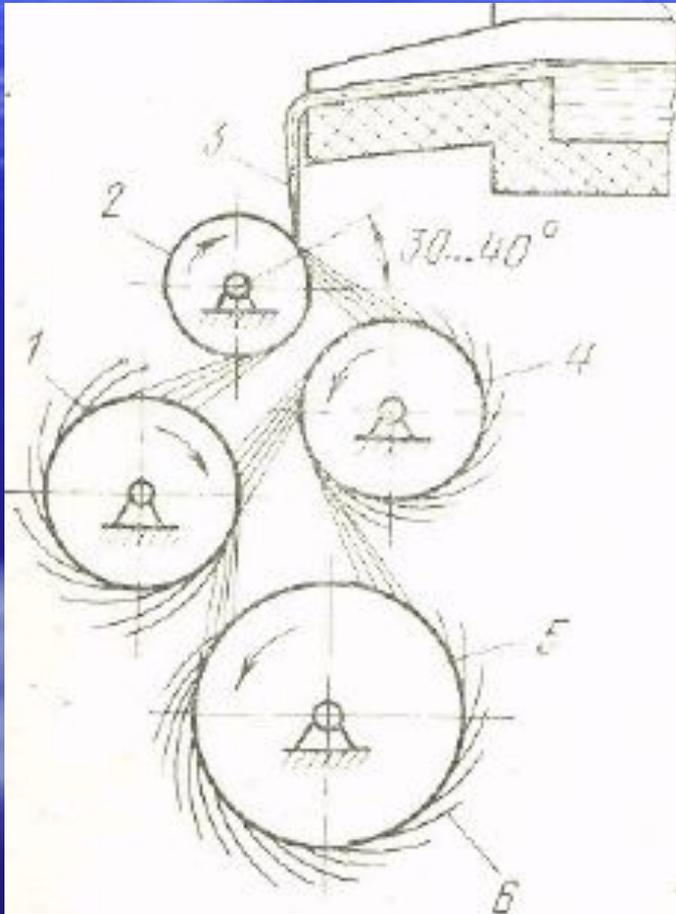


# Штабиковый способ



Основан на подогреве до расплавления стеклянных палочек – штабиков и вытягивании из них стеклянного волокна, наматываемого на вращающийся барабан. Позволяет получить в сутки 55-70 кг стекловолокна с установки.

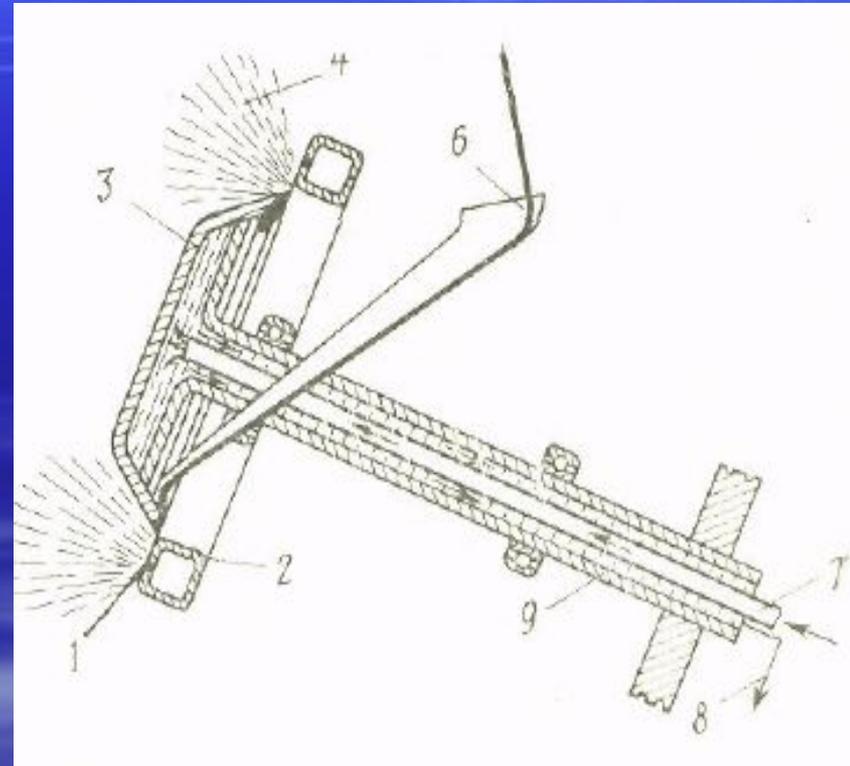
# Центробежный способ



Основан на использовании центробежной силы вращающихся элементов, на которые подается расплав. Центробежные установки могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми.

# Центробежно-дутьевой способ

Включает в себя предварительное механическое центробежное расщепление основной струи расплава и последующее вытягивание частичек расплава в волокна под действием струи энергоносителя (пара или сжатого воздуха).



# Замасливатели

- **Технологические (текстильные)**

состоят из клеящих и пластифицирующих (или смазывающих) веществ, обычно растворенных или эмульгированных в воде,

**Аппреты** – вещества, способствующие созданию прочной связи на границе СВ – связующее (кремнийорганические и металлоорганические соединения).

- **Прямые (активные, гидрофобно-адгезионные)** выполняет двойную функцию - предохраняет волокна от разрушения и усиливает адгезию между стеклом и полимерной матрицей

# Основные характеристики крученных комплексных нитей

Марка	Техническая документация	Линейная плотность, текс	Крутка, кр/м	Тип замасливателя, потери при прокаливании, % (масс.)
Нити из алюмоборосиликатного стекла				
БС6-26x1x4(y)	ТУ6-11-116-75	104±12	100±10	ПЭ н/б 2,0
БС5-3,4x1x2-80	ТУ6-11-383-76	6,8±0,5	150±15	№ 80 0,8-2,0
Нити из бесщелочного безборного стекла Т-273А				
ТС8-26x1x4	ТУ6-11-431-77	104±6		ПЭ1,5-0,5
ТС8-26x1x2	То же	52±4		ПЭ1,5-0,5
Нити кремнеземные из стекла № 11				
КПС6-180	ОСТ-П-389-74	180±14	150±10	
КПС6-180-13	То же	То же	150±10	№ 13
КПС6-170-БА	ОСТ-11 -389-74	170±20	150±10	№ 13
Нити кварцевые				
КС11-7x4x3	ТУ6-11-82-75	204	100±15	ПЭ н/б 2,5
КС11-17x2x3	То же	102	100±15	То же

# Профилированное стекловолокно

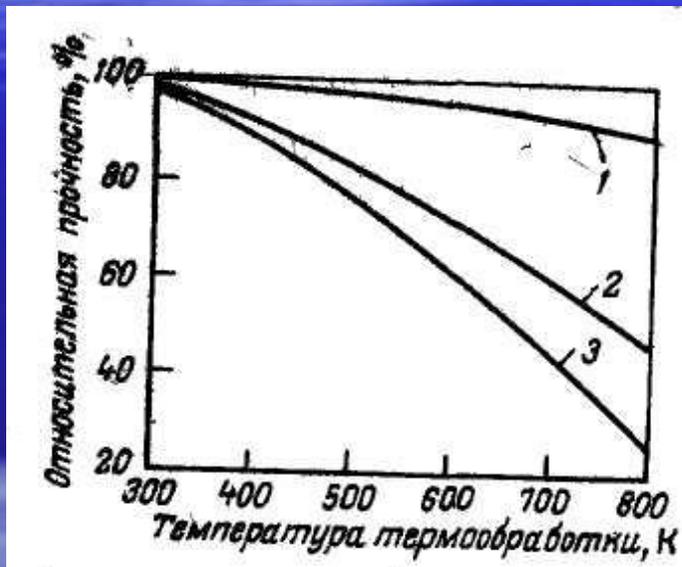
К профилированным СВ относятся волокна, имеющие в сечении форму треугольника, квадрата, шестигранника и др.

Полые (капиллярные) СВ имеют высокие значения плотности, диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и теплопроводности, а также более высокие жесткость при изгибе и прочность при сжатии.

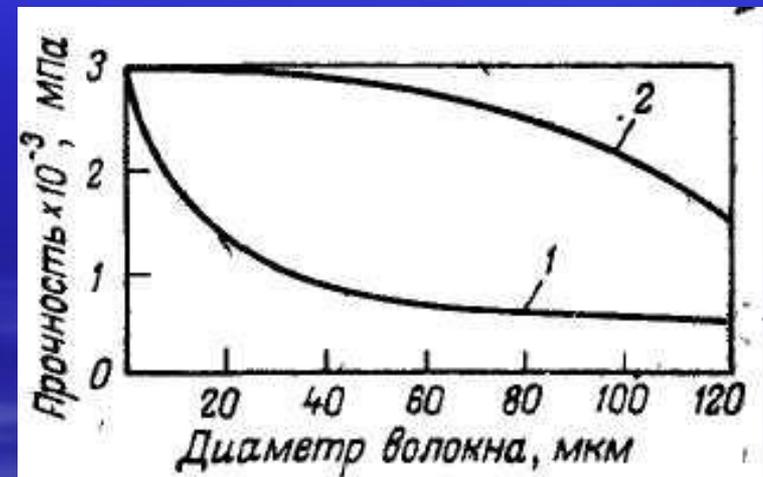
# Механические свойства

Тип, парка стекла	$E$ , ГПа	$\sigma_{\text{раст}}$ , МПа	$\delta$ ,%
Алюмоборосиликатное Е-стекло	73,5	3500	4,8
Высокомодульное ВМ-1 (РФ)	95	4200	4,8
М-стекло (США)	110	3500	...
Высокопрочное магнийалюмосиликатное			
ВМП (РФ)	93	...	...
УП-68 (РФ)	84,7	...	...
УП-73 (РФ)	82,6	...	...
S-994 (США)	86,8	4650 - 4900	5,4
D-стекло с низкой диэлектрической проницаемостью (США)	52,5	2450	4,7
Известково-натриевое А-стекло (США)	66,0	2400	4,0
Кислотостойкое			
№ 7-А (РФ)	74,0	2000	3,6
С-стекло (США)	70,0	3150	...
Плавленый кварц	74,2	6000	...
Свинцовосиликатное L-стекло (США)	51,0	1680	4,6

# Прочностные свойства



Зависимость прочности от температуры термообработки волокна 1 - кварцевого; 2 - марки Е; 3 - марки А.



Зависимость прочности стеклянного волокна марки Е от диаметра при уменьшающейся (1) и постоянной (2) скорости охлаждения

# Характеристики стеклянных волокон

Свойства	Марка стекла*		
	МАС	АБС	КС
Физические:			
плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	2480	2540	2490
Механические:			
предел прочности при растяжении $\sigma^+$ , МПа:			
при 22 °С	4585	3448	3033
при 371 °С	3768	2620	-
при 533 °С	2413	1724	-
Модуль упругости при растяжении $E$ , МПа, при 22 °С	85,5	72,4	69
Предел текучести стт, %	5,7	4,8	4,8
Термические: КЛТР а 106, К"1	5,6	5	7,2
Коэффициент теплопроводности $\chi$ , Вт/(мК)		10,4	
Удельная теплоемкость, Дж/(кгК), при 22 °С	0,176	0,197	0,212
Температура размягчения $T$ , °С	-	841	749

# Характеристики стеклянных волокон

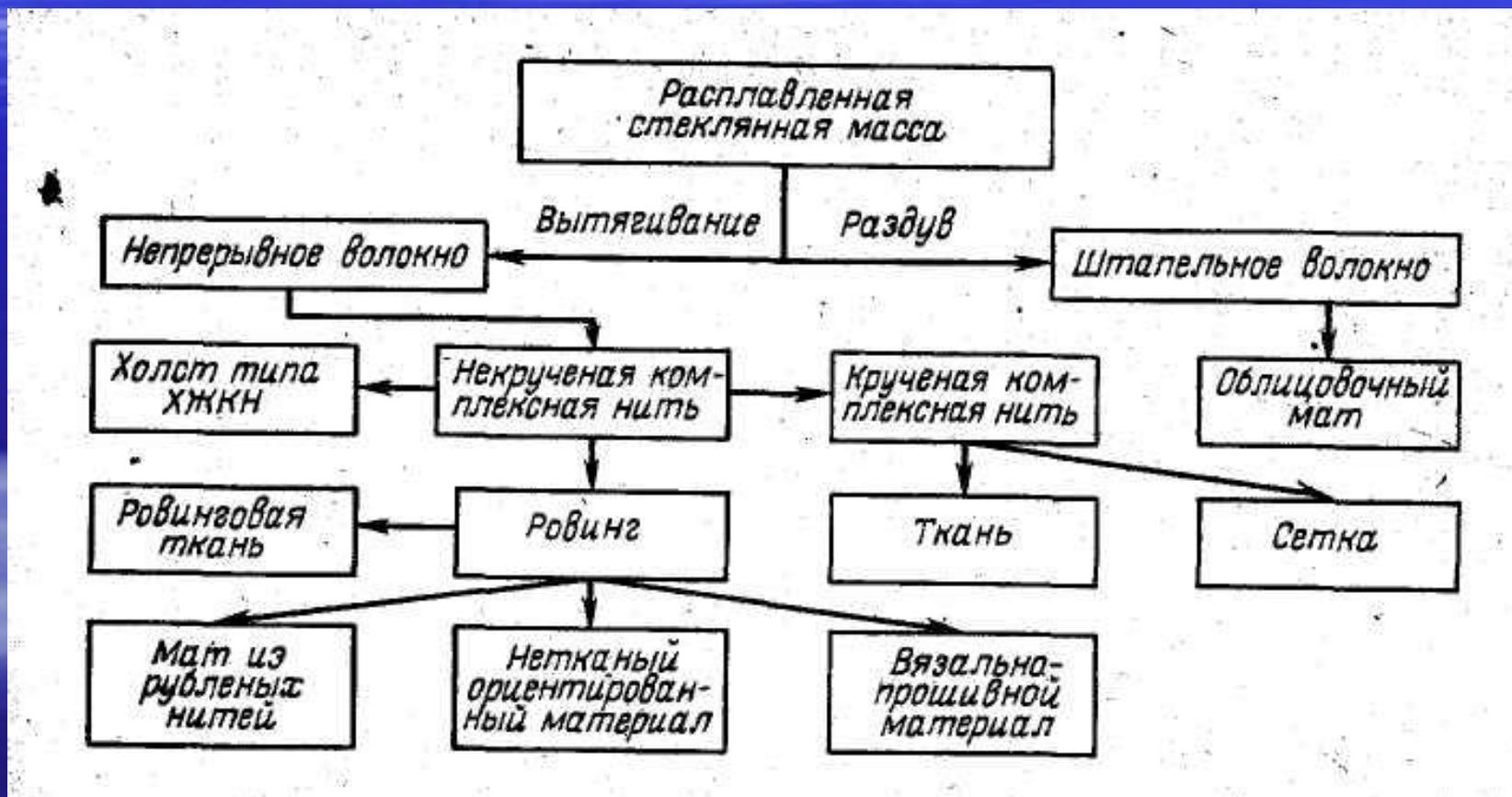
- СВ имеют низкую стойкость к многократному изгибу и истиранию
- При комнатной температуре, влажности примерно 50 - 55 % и кратковременной нагрузке СВ ведут себя вплоть до разрушения как идеальные упругие тела
- С повышением температуры модуль упругости СВ уменьшается незначительно до температуры размягчения
- Химическая стойкость СВ зависит от состава стекла и определяется потерями массы и прочности под воздействием агрессивных сред

# Эксплуатационные свойства СТЕКЛОВОЛОКОН

- Тепло- и огнестойкость
- Биостойкость.
- Влагостойкость
- Термические свойства.
- Электрические свойства.
- Оптические свойства
- Звукопоглощение



# Схема переработки СВ



# Текстильные формы СВ

- Текстильная стекловолоконная пряжа «простая пряжа» непрерывные одиночные жгуты (стренги)
- Скручивание двух или более простых стренг вместе с одновременным трощением (в результате операций кручения и трощения получают пряжу, прочность, гибкость и диаметр которой могут варьироваться)
- Текстурированная пряжа - текстильная стекловолоконная пряжа, подвергнутая воздействию струи воздуха (случайное, но контролируемое разрушение элементарных стекловолокон, расположенных на поверхности пряжи, и «распушение» пряжи)
- Стекловолоконные ровинги - объединение непрерывных и параллельных стренг (жгутов) или элементарных волокон.

тип Р - рассыпающийся ровинг для изготовления жестких и мягких холстов, получения стеклопластиков способом напыления рубленых нитей, производства премиксов;

тип Т - ровинг для выработки тканей;

тип Н - ровинг для изготовления стеклопластиков методом намотки и протяжки и наполнения термопластов

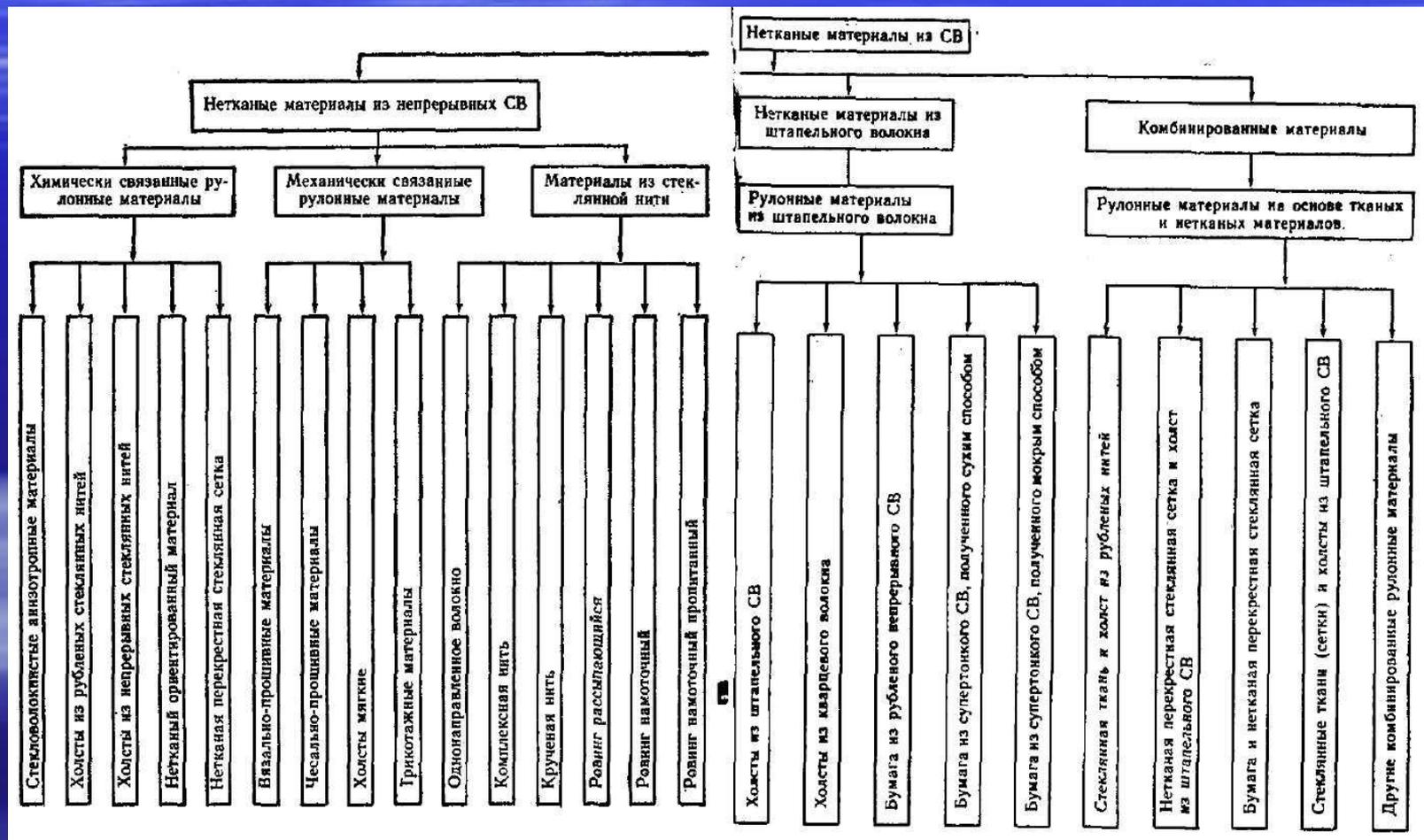
# Тканые наполнители из СВ

Ткани, сетки, ленты получают путем текстильной переработки и тканья крученой комплексной стеклонити, стекложгута, штапелированной пряжи и ровницы

- многослойные
- комбинированные
- цельнотканые контурные заготовки
- трехмерных армирующих наполнителях с объемной структурой нити



# Схема группового распределения нетканых материалов из СВ по видам и способы их получения



# Высокосиликаты (кварцевое волокно)

Вырабатывается при температуре 2423 К

Процесс формования кварцевого волокна:

- из расплава в защитной среде, при течении расплава через фильеры под давлением либо при введении легирующих добавок
- штабиковый метод (стержни из прозрачного кварцевого стекла или – штабиков - из порошкообразных смесей чистого кремнезема и жидкого связующего
- выщелачивании оксидов из алюмоборосиликатного (волокно рефразил), натрийсиликатного и других силикатных стекол под действием кислот и щелочей