



# Жидкое и растворимое стекло



# План лекции

- Определения: жидкие и растворимые стёкла.  
Силикатный модуль.
- Классификация жидких стёкол.
- Основные характеристики растворимых и жидких стёкол.
- Промышленные способы получения жидких стёкол:
  - двустадийный;
  - одностадийный.
- Технология производства силикат-глыбы.
- Технология растворения силикат-глыбы:
  - автоклавная;
  - безавтоклавная.
- Типы автоклавов и их технические характеристики.
- Теоретические основы процесса растворения силикат-глыбы.  
Факторы, влияющие на кинетику растворения.
- Области применения жидкого стекла и растворимого стекла.



# Историческая справка

**I век н.э.:** «Естественная история» Плиния Старшего; первые упоминания о растворимом стекле и способе его получения.

**1520 г.(?):** Василий Валентин; описание способа получения растворимого стекла путем сплавления песка и соды.

**XVII в.:** Ян ван Гельмонт и Иоган Глаубер; опыты по получению растворимого стекла из песка и соды, песка и винного камня.

**1818 г.:** Иоган Фукс (Johann Nepomuk von Fuchs); получение растворимого стекла, исследование и описание его свойств, практическое применение растворимого и жидкого стекла.

**1826 г.:** начало промышленного выпуска растворимого стекла в Европе.

**1861-1864 г.:** начало промышленного выпуска растворимого стекла в США.

**80-е гг. XIX в.:** начало промышленного выпуска растворимого стекла в России.



*Плиний Старший,  
писатель*

22 (24) г. н.э. – 79 г. н.э.



*Ян Баптист ван Гельмонт  
естествоиспытатель  
1579 – 1644 гг.*



*Василий Валентин,  
алхимик  
XV в. (?)*



*Иоган Глаубер  
алхимик  
1604 – 1670 гг.*

Реакционная  
активность

Адгезия и  
вязущие свойства

Огнеупорность

**Жидкое  
стекло**

Нетоксичность

Фунгицидность

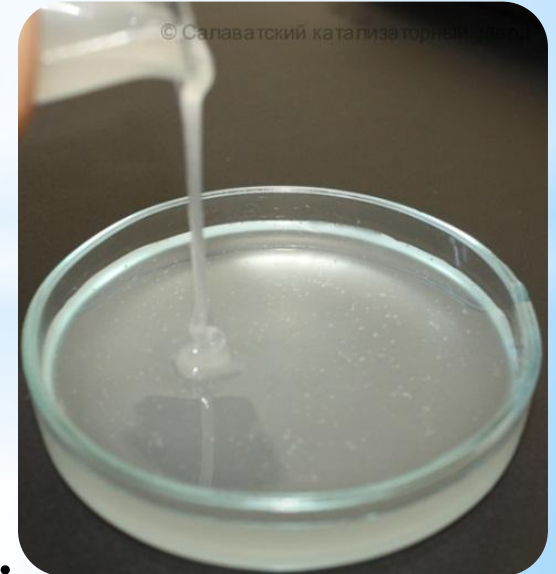
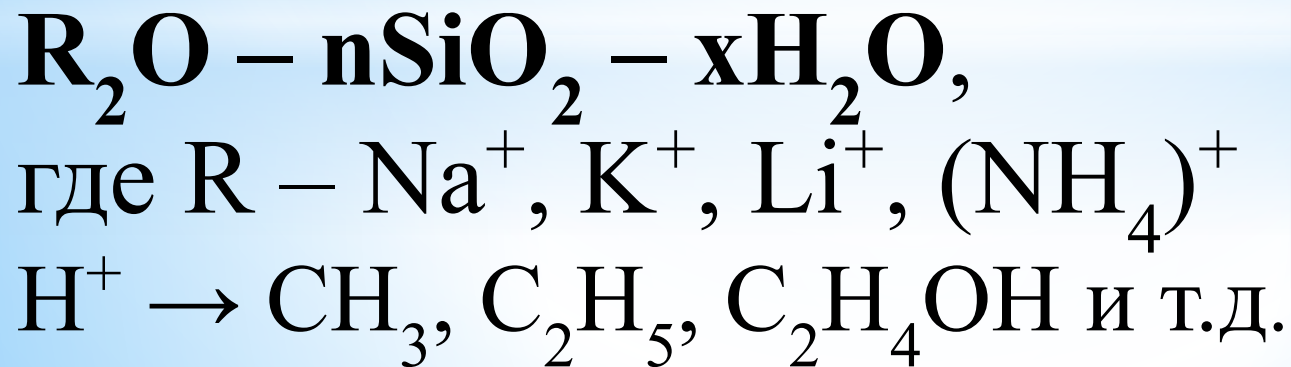
Коллоидно-химические  
свойства

Растворимое стекло – твердые водорастворимые стекловидные силикаты («силикат-глыба»)



Жидкое стекло – водные щелочные растворы

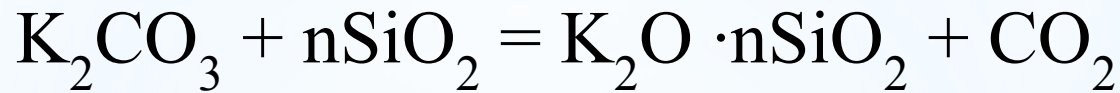
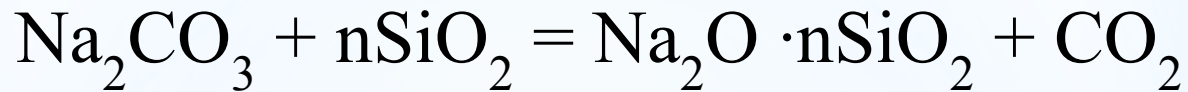
СИЛИКАТОВ (независимо от вида катиона, концентрации кремнезема, его полимерного строения и способа получения растворов)





# Растворимые стёкла получают:

сплавлением кремнезёма с щелочными компонентами (содой, сульфатом натрия, поташом и др.), взятых в стехиометрических соотношениях, по технологии силикатных стекол.



## **Границы стеклообразования:**

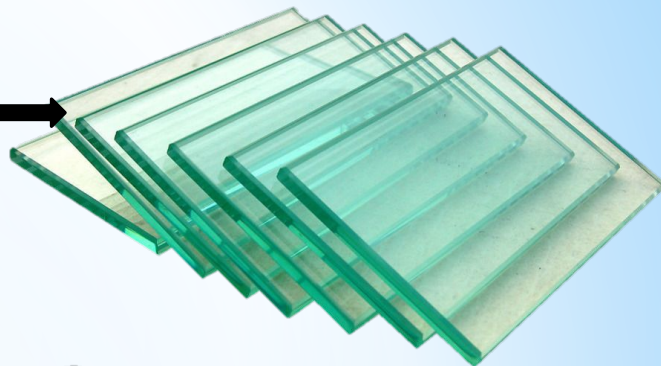
в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2 \rightarrow 0 \div 52$  мол. %  $\text{Na}_2\text{O}$

в системе  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2 \rightarrow 0 \div 54$  мол. %  $\text{K}_2\text{O}$



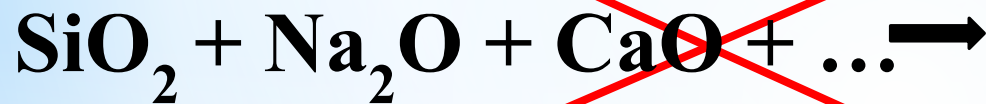
# Отличия

растворимого, жидкого и обычного силикатного стекла



! многокомпонентный состав

! невысокое содержание щелочей



где R –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  ~~$\text{Li}^+$~~ ,  ~~$(\text{NH}_4)^+$~~



где R –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $(\text{NH}_4)^+$



# Жидкие стёкла получают:

- растворением в воде растворимых щёлочесиликатных стёкол («силикат-глыбы»)
- растворением кремнезёма в щелочах
- растворением в воде аморфных или кристаллических порошков безводных и гидратированных щелочных силикатов (гидросиликатов натрия и калия)





$M_2O \cdot nSiO_2$ , где  $M - Na^+, K^+, Li^+$

**Силикатный модуль, n** - величина, выражающая молярное или массовое отношение  $SiO_2$  к оксиду щелочного металла.

$$n = \frac{SiO_2^{m\%}}{M_2O^{m\%}};$$

$$n = n_w \cdot k,$$

$$n_w = \frac{SiO_2^{w\%}}{M_2O^{w\%}};$$

$$\text{где } k = \frac{M_{M_2O}}{M_{SiO_2}}$$

$n$  – молярный модуль;

$n_w$  –весовой модуль;

$SiO_2^{m\%}$  и  $M_2O^{m\%}$ ,

$SiO_2^{w\%}$  и  $M_2O^{w\%}$

содержание  $SiO_2$  и оксида щелочного металла ( $M_2O$ ),

мол.% и масс. % соответственно

$M_{SiO_2}$  и  $M_{M_2O}$  – молярные массы  $SiO_2$  и щелочного оксида, г/моль.

$k = 1,032$  для натриевой системы

$k = 1,568$  для калиевой системы

**В России чаще используется молярный модуль, за рубежом – массовый**

**Растворимое стекло**  
**(силикат-глыба)**

Измельчение и  
классификация

Растворение в автоклаве

Безводный  
порошок  
силиката  
натрия

Выпаривание

**Раствор**  
**силиката натрия**  
**(жидкое стекло)**

Распылительная  
сушка

NaOH

Кристаллизация, сушка

Высокощелочной  
раствор силиката  
натрия

Гидратированный  
порошок  
силиката натрия

Ортосиликат  
натрия

Метасиликат  
натрия

Аморфные формы  
 $\text{SiO}_2$ , цеолиты,  
коллоидный  $\text{SiO}_2$

Гранулированный  
силикат натрия

# Классификация жидких стёкол

## По виду щелочного катиона

- натриевые;
- калиевые;
- литиевые;
- на основе четвертичного аммония

## По силикатному модулю\*

- высокощелочные системы ( $n < 2$ );
- собственно жидкие стекла ( $n = 2 \div 4$ );
- полисиликаты ( $n = 4 \div 25$ );
- золи ( $n > 25$ )

## По содержанию воды

- высоководные системы – легкоподвижные *жидкости*;
- низководные системы – *пасты*;
- безводные системы (кристаллогидраты) – *порошки* или кусковой материал.

$$* \quad n = \frac{\text{SiO}_2^{m\%}}{\text{M}_2\text{O}^{m\%}};$$



- **Высокощелочные системы** ( $n < 2$ ) – истинные растворы. Анионная часть представлена изолированными островными и групповыми силикатами  $[\text{SiO}_4]$ ,  $[\text{Si}_2\text{O}_7]$  (тетраэдр, линейная группа тетраэдров).
- **Жидкие стёкла** ( $n = 2 \div 4$ ) – растворы, являющиеся переходными от истинных к коллоидным, в которых анионная часть представлена поликремниевыми кислотами различной полимерности - кольцевые, цепочечные, каркасные структуры. (содержание  $\text{SiO}_{2\text{колл}}$  до 50%).
- **Полисиликаты** ( $n = 4 \div 25$ ) – растворы, являющиеся переходными от истинных к коллоидным, в которых кремнезем представлен в разнообразных формах - от ионов низкополимерных поликремниевых кислот до коллоидных частиц  $\text{SiO}_2$  с мол. массой до  $10^6$  (содержание  $\text{SiO}_{2\text{колл}}$  50÷90%).
- **Золи** ( $n > 25$ ) - дисперсии частиц  $\text{SiO}_2$  в воде, стабилизированные щелочами (коллоидный кремнезем, мол. масса  $\text{SiO}_2 > 10^8$ )



$d < 7$  нм – прозрачный

$d > 50$  нм – молочный

$d > 100$  нм – седиментация

$\text{SiO}_2 > 15 - 50$  масс. %

Электронно-микроскопический  
снимок золя кремнезема

# Основные характеристика растворимых и жидких стёкол

## Растворимое стекло «силикат-глыба»

**высокощелочные  
силикатные стекла**

Силикатный модуль:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  (90%);  $n=2,6 \div 3,5$

$\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ;  $n=3 \div 3,5$

$\text{K}_2\text{O} \cdot q\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$   $n=2,75-3,35$   
(марка «НК»)

Содержание основных оксидов:

$\text{SiO}_2$  70-76,  $\text{Na}_2\text{O}$  22-28 мас.%

$\text{SiO}_2$  65-69,  $\text{K}_2\text{O}$  31-35 мас.%

Содержание примесей:

$(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  - до 0,55 мас.%

$\text{CaO}$  – до 0,3 мас.%

$\text{SO}_3$  – до 0,25 мас.%

## Жидкое стекло

**густые вязкие прозрачные  
слабоокрашенные жидкости**

Силикатный модуль:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ;  $n=2,0 \div 3,5$ ;  $\rho=1,3-1,6$

$\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ;  $n=2,8 \div 4,0$ ;  $\rho=1,25-1,4$

Содержание основных оксидов:

$\text{SiO}_2$  22,7-29,6;  $\text{Na}_2\text{O}$  7,9-13,8 мас.%

Содержание примесей:

$(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  - до 0,9 мас.%

$\text{CaO}$  – до 0,2 мас.%

$\text{SO}_3$  – до 0,15 мас.%

# Свойства жидких стекол, важные для практических применений

- **Концентрация**  $SiO_2$  30-33 мас.%;  $Na_2O$  10-13 мас.%
  - **Плотность**  $\rho=1,036-1,673$  г/см<sup>3</sup>
  - **Вязкость** *зависит от модуля и концентрации, а также от состава, способа получения, температуры, наличия примесей, возраста раствора.*
  - **Клейкость** – *способность склеивать различные поверхности. Зависит от концентрации, модуля, состава, вяжущих свойств, поверхностного натяжения.*
  - **Реакционная способность** *зависит от концентрации, модуля и рН раствора.*
- Особенности протекания химических реакций: *коллоидная природа раствора; сильно развитая адсорбционная способность продуктов реакций и их гидролиз.*



# Физико-химические показатели натриевого жидкого стекла (ГОСТ 13078-81)

Показатель	А	Б	для литейного пр-ва, замазок	для катализаторов, электродов	для хим. пр-в	для строительства и флотации	для клеев, пропиток	для бумажного пр-ва
<b>SiO<sub>2</sub>*,</b>	<b>22,7 - 29,6</b>	<b>24,3 - 31,9</b>	<b>29,5 - 36,0</b>	<b>24,8 - 34,3</b>	<b>24,1 - 35,0</b>	<b>24,8 - 36,7</b>	<b>24,8 - 34,0</b>	<b>27,2 - 29,3</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не >	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,90	0,30	0,25
в т. ч. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не регламентируется		-	-	0,05	Не регламентируется		
CaO, не >	0,20	0,20	0,20	0,12	0,05	0,20	0,20	0,20
SO <sub>3</sub> , не >	0,15	0,15	0,15	0,07	0,07	0,15	0,15	0,15
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>9,3 - 12,8</b>	<b>8,7 - 12,2</b>	<b>10,9 - 13,8</b>	<b>9,0 - 12,9</b>	<b>8,7 - 13,3</b>	<b>8,1 - 13,3</b>	<b>8,0 - 12,2</b>	<b>7,9 - 8,8</b>
<b>Модуль</b>	<b>2,3 - 2,6</b>	<b>2,6 - 3,0</b>	<b>2,6 - 3,0</b>	<b>2,7 - 2,9</b>	<b>2,6 - 3,0</b>	<b>2,7 - 3,3</b>	<b>2,7 - 3,4</b>	<b>3,4 - 3,6</b>
<b>Плотность, г/см<sup>3</sup></b>	<b>1,36 - 1,45</b>	<b>1,36 - 1,45</b>	<b>1,47 - 1,52</b>	<b>1,36 - 1,50</b>	<b>1,36 - 1,50</b>	<b>1,36 - 1,50</b>	<b>1,36 - 1,45</b>	<b>1,35 - 1,40</b>

\* содержание оксидов приведено в массовых процентах

Калиевое жидкое стекло: ГОСТ-18958-73 Силикатные краски;  
прочие стекла по ТУ-214510-010-45608905-13.

# Технические требования к жидким стеклам

## по ТУ 214510-010-45608905-13

Наименование показателя	Натриевое	Калиевое	Литиевое	Натрий-калиевое	Калий-натриевое	Калий-литиевое	Натрий-калий-литиевое
1. Внешний вид	Прозрачная, бесцветная жидкость						
2. Массовая доля двуокиси кремния, %	18,0-36,0	18,0-36,0	18,0-36,0	18,0-36,0	18,0-36,0	18,0-36,0	18,0-36,0
3. Массовая доля окиси железа и окиси алюминия, % не более	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
в том числе окиси железа	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4. Массовая доля окиси кальция, % не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5. Массовая доля серного ангидрида, % не более	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6. Массовая доля окиси натрия, %	6,0-14,0	-	-	6,5-9,0	2,5-4,5	-	3,0-4,5
7. Массовая доля окиси калия, %	-	8,6-13,0	-	3,0-4,5	6,5-9,0	6,5-9,0	3,0-4,5
8. Массовая доля окиси лития, %	-	-	6,0-12,0	-	-	1,0-4,5	0,5-1,5
9. Силикатный модуль	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0
10. Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2-1,55	1,2-1,55	1,2-1,55	1,2-1,55	1,2-1,55	1,2-1,55	1,2-1,55
11. Вязкость, мПа·с	20-1000	20-1000	20-1000	20-1000	20-1000	20-1000	20-1000

Натриевое жидкое стекло: ГОСТ-13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия.  
 Калиевое жидкое стекло: ГОСТ-18958-73 Силикатные краски;  
 прочие стекла по ТУ-214510-010-45608905-13.

# Промышленные способы получения жидких стёкол

## Двухстадийный способ «Дуплекс-процесс»

**Варка** высокощелочных силикатных стекол — «силикат-глыбы» и ее **последующее растворение**, главным образом в автоклавах ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ;  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ;  $\text{K}_2\text{O} \cdot q\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ )

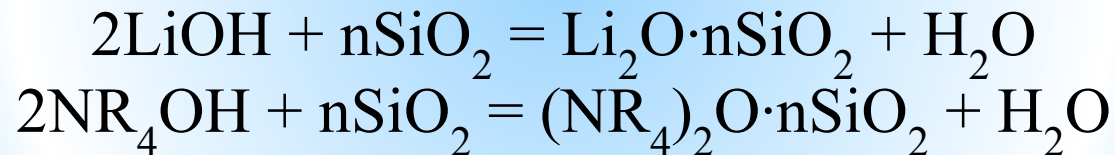
## Одностадийный способ

«+» - более простая технологическая схема  
«→» - нестабильность технологических процессов (нестабильное сырьё); высокие температуры и давление, худшее качество продукции, дефицит NaOH, необходимость тонкого измельчения сырья



# Промышленные способы получения жидких стёкол

Единственным промышленным способом получения силикатных растворов с катионами  $\text{Li}^+$  и  $\text{NR}_4^+$  является растворение активного кремнезема (в виде аэросила, коллоидного  $\text{SiO}_2$  или других форм) в водных растворах  $\text{LiOH}$  или оснований четвертичного аммония  $\text{NR}_4\text{OH}$



Приготовленные растворы могут храниться месяцами и даже годами без заметных признаков изменения вязкости.

# Технология производства силикат-глыбы

## Сырьевые материалы:

кварцевый песок (без специального обогащения), сода, сульфат натрия + кокс (восстановитель), поташ, содо-поташная смесь.

Процесс стекловарения производят в промышленных ваннах регенеративных печах с поперечным или подковообразным направлением пламени.

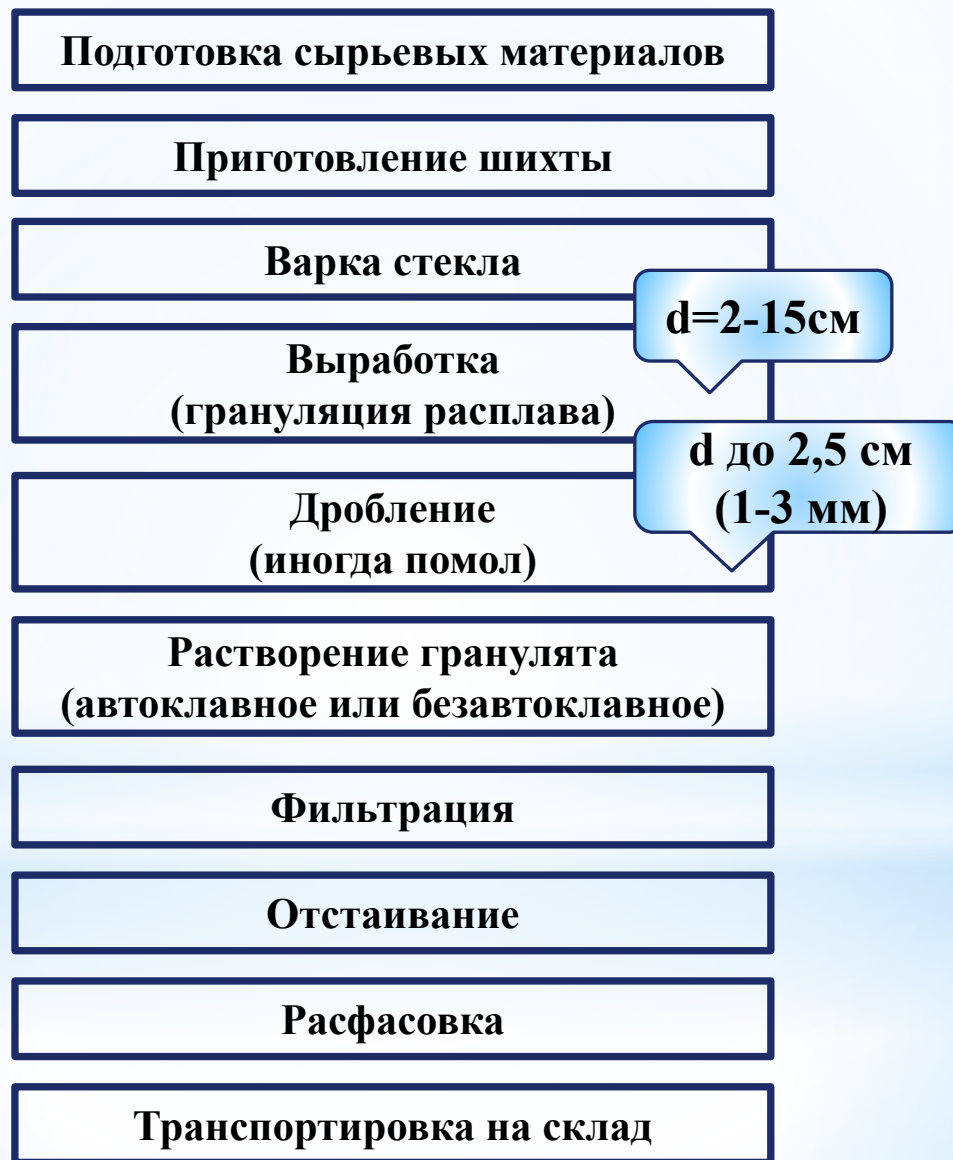
! 30-300т/сут.;  $q=1000-3000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сут.}$

$$t_{\text{варки}} = 1400 \div 1450^{\circ}\text{C}$$

Могут использоваться электропечи с варкой под слоем шихты.

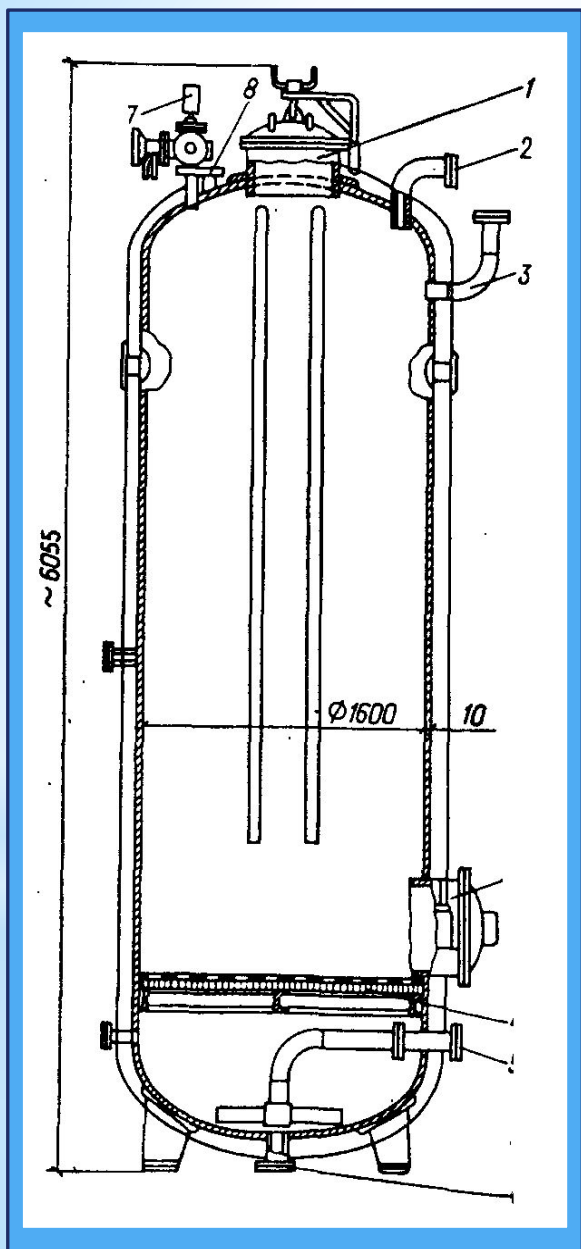


# Технология производства жидкого стекла по двухстадийному способу





# Технология растворения силикат-глыбы



## **Стационарный автоклав**

Объем – 10 м<sup>3</sup>

Масса силикат-глыбы – 2500 кг

Объем воды – 3500 л

Производительность – 6000 кг  
раствора за 1 цикл

Температура – 135 - 165°C

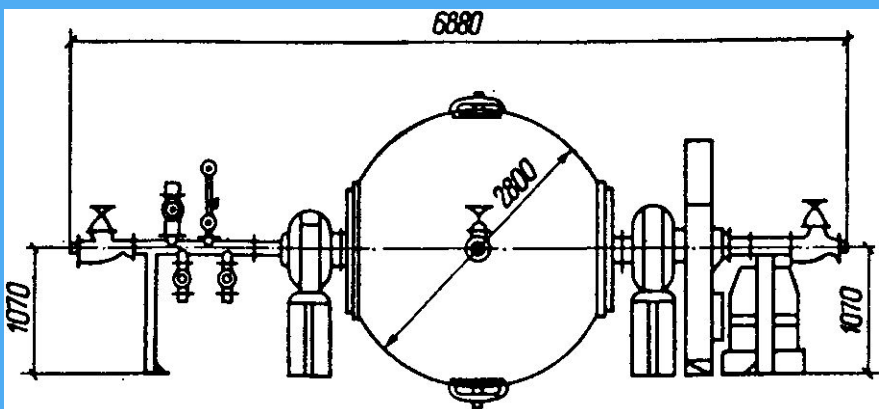
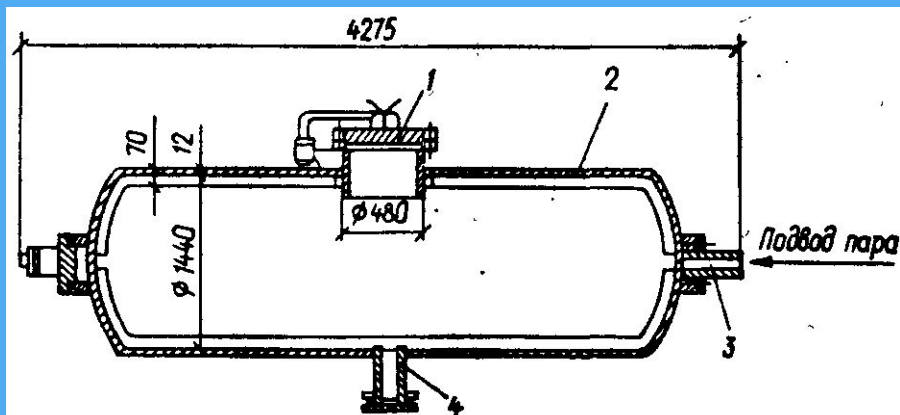
Время – 5-6 час.

$d_{\text{кусков}} = 20-150 \text{ мм}$

## **Последовательность операций:**

засыпка силикат-глыбы → залив горячей воды → герметизация → подача пара (вода от конденсации пара участвует в растворении) → прекращение подачи пара → растворение за счет экзотермической реакции → выгрузка жидкого стекла в отстойник.

# Технология растворения силикат-глыбы



## **Вращающиеся автоклавы**

Диаметр – 2,8 м

Объем 11,5 м<sup>3</sup>-45 м<sup>3</sup>

Скорость вращения 1,8 об/мин

Производительность – 6000 кг  
раствора за 1 цикл

Давление – 0,3-0,7 атм.

Температура – 135 - 165°С

Время – 1-2 час.

$d_{\text{кусков}} = 20-150 \text{ мм}$

## **Отстойник**

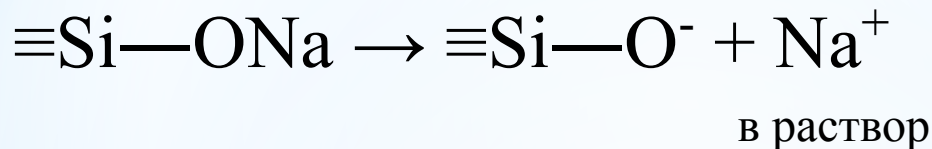
Объем 20-100 м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{отстаивания}} - 24-72 \text{ часа.}$

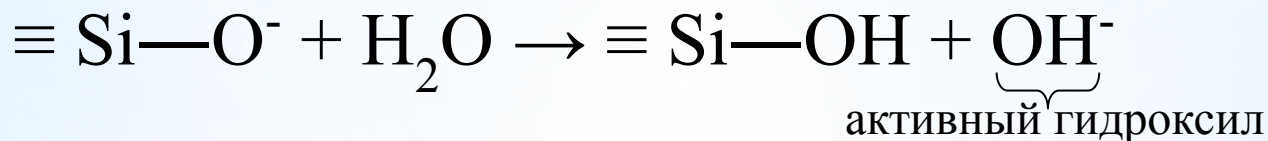
Иногда применяют фильтрацию или  
выпаривание.

# Теоретические основы растворения силикат-глыбы

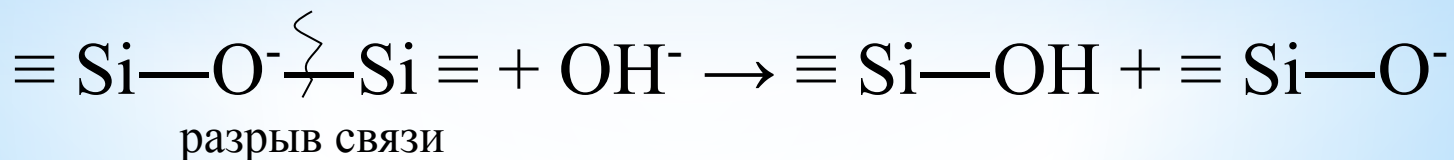
## 1. Выщелачивание ионов $\text{Na}^+$



## 2. Гидролиз анионного каркаса стекла



## 3. Разрушение анионного каркаса Si-O-Si активным гидроксильным ионом $\text{OH}^-$

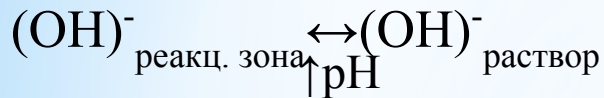


# Факторы, влияющие на кинетику растворения

## 1) pH среды

При низкой концентрации  $\text{OH}^-$  (низкая щелочность, низкий pH) растворение замедляется.

При высокой концентрации  $\text{OH}^-$  растворение идет быстро.



## **2) Степень измельчения силикат-глыбы**

Повышение дисперсности порошка увеличивает скорость его растворения:

безавтоклавное растворение  $d=0,5-0,6$  мм;

автоклавное растворение  $d=15-30$  мм.

## **3) Силикатный модуль, $n$ (состав стекла)**

Повышение модуля снижает скорость растворения.

## **4) Температура растворения**

## **5) Примеси в силикат-глыбе**

Резко снижают скорость растворения.

## **6) Перемешивание**

Ускоряет растворение, так как при перемешивании с поверхности зерен удаляются гелеобразные кремнезёмистые слои.



# Направления применения жидкого стекла

- I. Использование **вяжущих свойств** (способности к самопроизвольному твердению с образованием искусственного силикатного камня) и **адгезионных свойств** по отношению к подложкам различной природы. Жидкое стекло выступает в качестве химической связки для склеивания различных материалов, изготовления покрытий и производства композиционных материалов.
  1. Композиционные материалы – строительные растворы, цементы, бетоны, формовочные смеси, керамические формы и др.
  2. Силикатные клеи – склеивание бумаги и картона, металлов, керамики, укрепление горных пород и грунта, брикетирование руд, концентратов, сорбентов.
  3. Силикатные покрытия – огнезащитные, антикоррозионные, декоративные, противопригарные и др.
- II. Жидкие стекла как **источник растворимого кремнезема** – единственное сырье для синтеза кремнеземсодержащих веществ: силикагеля, белой сажи, цеолитов, катализаторов.
- III. Использование **высокой щелочности и коллоидно-химических свойств**. Синтетические моющие средства, отбелка и окраска тканей, производство бумаги.

# Использование вяжущих свойств щелочных силикатов

## Покрyтия

Фасадные краски  
Антикоррозионные покрyтия  
Огнезащитные покрyтия  
Гидроизоляция  
Защитные укрепляющие покрyтия

## Композиционные материалы

Строительные растворы и бетоны  
Кислотоупорные растворы и замазки  
Огнеупорные и жаростойкие растворы и бетоны  
Теплоизоляционные материалы и наполнители  
Силикатизация дорог и укрепление грунтов  
Облицовочные плитки и кирпич  
Опалубка  
Кровельные материалы

## Клеи

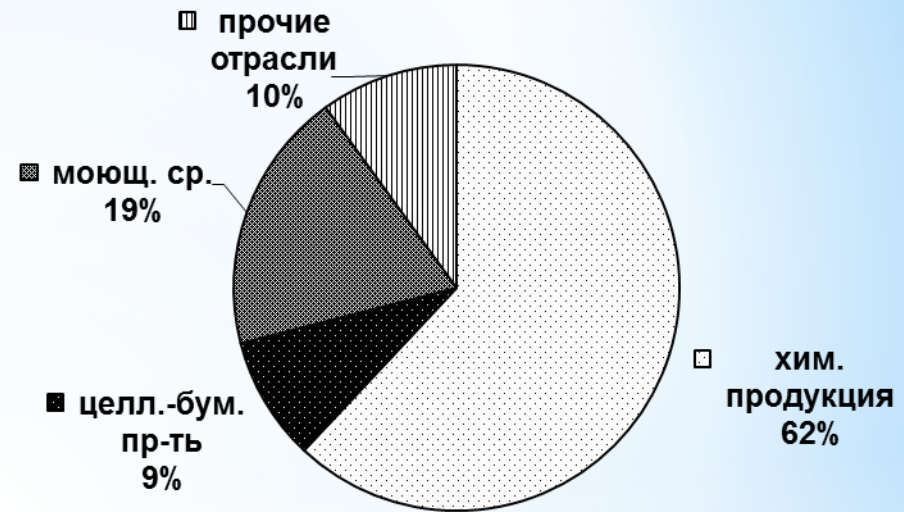
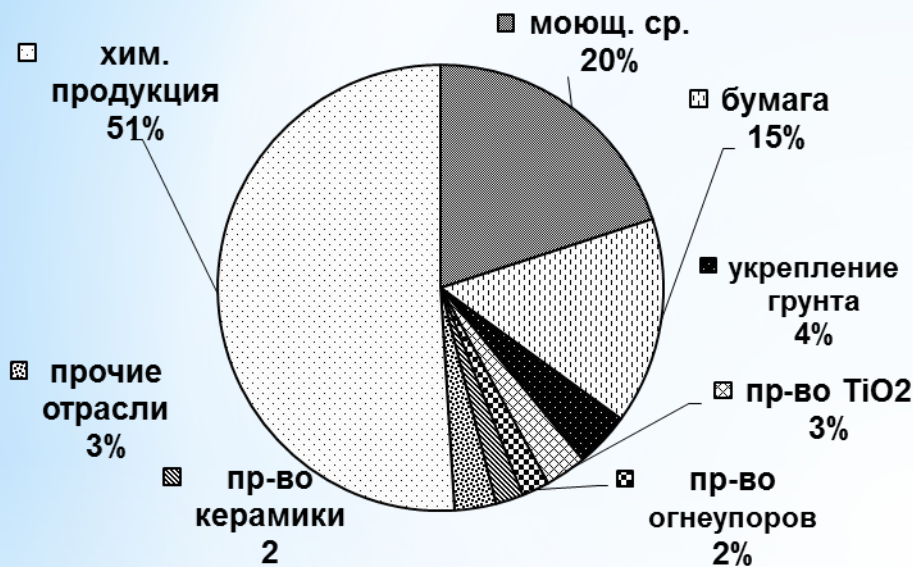
Высокотемпературные клеи для металла, керамики и стекла  
Склеивание бумажной и картонной тары

# Области применения жидкого стекла

*Потребление силикатов натрия  
в Западной Европе (2000 г.)*

*Потребление силикатов натрия  
в США (2000 г.)*

Общий объём потребления: 1260 тыс. т.    Общий объём потребления: 1136 тыс. т.



- Химическая промышленность: производство кремнеземсодержащих продуктов (силикагели, цеолиты, тонкодисперсные виды кремнезёма и др.);
- Производство вяжущих и строительных материалов;
- Нефте- и газодобыча;
- Целлюлозно-бумажная промышленность;
- Водоподготовка;
- Продукция бытового и промышленного назначения (моющие и чистящие средства, стиральные порошки).

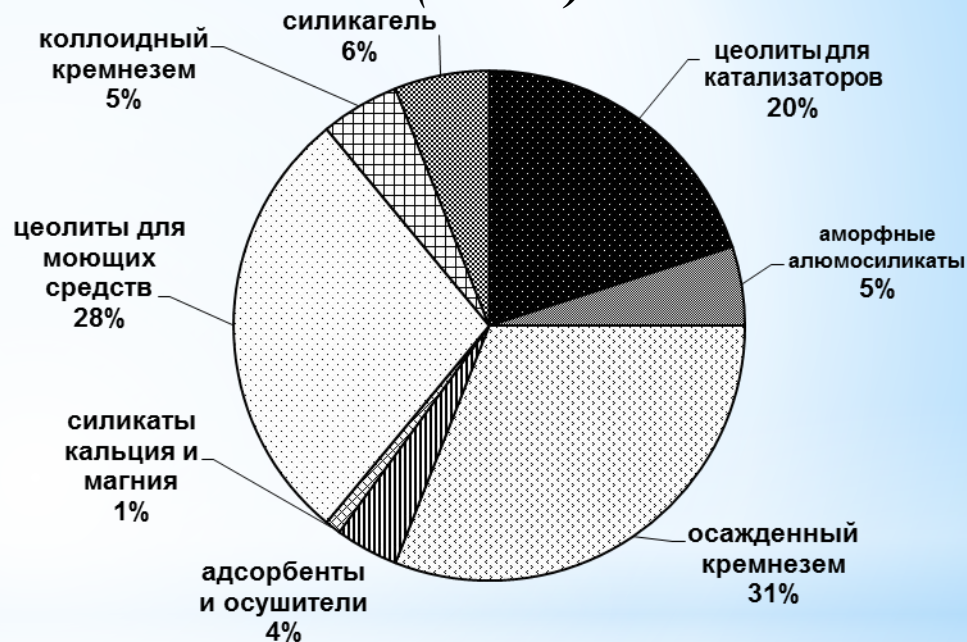


# Потребление силикатов натрия химической промышленностью

*Потребление силикатов натрия  
химической промышленностью  
в Западной Европе (2000 г.)*



*Потребление силикатов натрия  
химической промышленностью в США  
(2000 г.)*



Общий объём потребления: 640 тыс. т.

Общий объём потребления: 700 тыс. т.

Растворы силикатов натрия являются основным сырьем для производства силикагелей и порошков кремнезема. В зависимости от особенностей технологии получают силикагели, различные по структуре и свойствам. Применение золь кремнезема в промышленности в основном связано с большой удельной поверхностью находящихся в них нанодисперсных частиц  $\text{SiO}_2$  (от 100 до 600-700 м<sup>2</sup>/г).



# Области применения растворимого стекла



# Отечественные производители жидкого стекла

- ООО «*Оксиум*» (Ульяновская обл.)
- ОАО «*Ивхимпром*» (Ивановская обл.)
- ООО «*МЕТТЕРА*» (Челябинская обл.)
- ЗАО «*Строительный комплекс*» (Челябинская обл.)
- АО «*Кубаньжелдормаш*» (Краснодарский край)
- ЗАО «*Армавирстекло*» (Краснодарский край)
- ОАО «*Салаватстекло*» (Респ. Башкортостан)
- ОАО «*Салавтнефтеоргсинтез*» (Респ. Башкортостан)
- ЗАО «*Торговый дом «Стеклопродукт*» (Рязанская обл.)
- ОАО «*Скопинский стекольный завод*» (Рязанская обл.)
- НПО «*Силикат*» (г. Санкт-Петербург)
- НПП «*Алектич*» (Ростовская обл.)

**Натриевое жидкое стекло**  
**Силикатный модуль 2,6-3**  
**Производительность 200-300 т/сут**  
**Цена: 8000-10 000 руб/т**

# Контрольные вопросы

1. Определение и классификация жидких и растворимых стекол.
2. Основные параметры и характеристики растворимых и жидких стекол (состав, строение, силикатный модуль, физико-химические свойства).
3. Получение жидких стекол. Двустадийный и одностадийный способы.
5. Технология растворения силикат-глыбы: автоклавная, безавтоклавная.
4. Теоретическая основа процесса растворения силикат-глыбы. Факторы, влияющие на кинетику растворения (рН среды, степень измельчения, силикатный модуль, температура растворения, наличие примесей, перемешивание).
5. Области применения жидкого и растворимого стекла.

# Вопросы для контрольной работы

1. Что такое силикатный модуль? Выражения для молярного и массового модуля. Диапазон значений силикатного модуля для промышленных натриевых и калиевых стекол.
2. Перечислите и кратко охарактеризуйте свойства жидких стекол, важные для их практических применений.
3. По каким критериям (признакам) классифицируют и на какие виды подразделяют жидкие стекла?
4. Перечислите основные направления практического применения жидких стекол и поясните, благодаря каким свойствам их используют.



## Литература

1. Григорьев П. Н., Матвеев М. А. Растворимое стекло. – М.: Промстройиздат, 1956. – 442 с.
2. Корнеев В. И., Данилов В. В. Жидкое и растворимое стекло. - СПб.: Стройиздат, 1996. – 215 с.
3. Брыков А. С. Силикатные растворы и их применение. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009 – 54 с.
4. Бабушкина М. И. Жидкое стекло в строительстве. – Кишинев: «Картя Молдовеняскэ», 1971. – 223 с.
5. ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое.

**Спасибо за внимание!**

