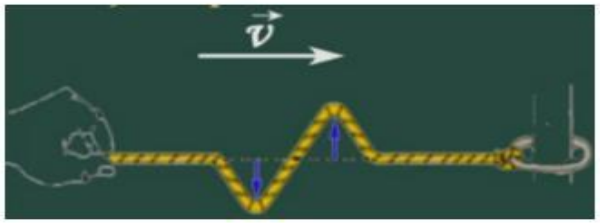
# Механические колебания

В физике механическая волна - это волна, представляющая собой колебание вещества и, следовательно, передающая энергию через среду. В то время как волны могут перемещаться на большие расстояния, движение среды передачи - материала - ограничено

## Виды механических волн

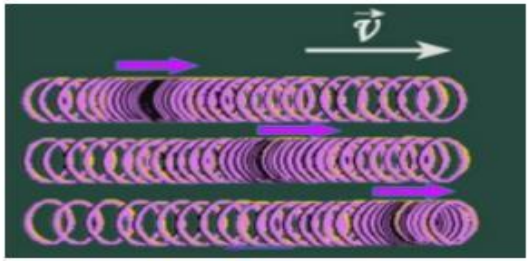
- **Поперечные**




В поперечной волне направление колебаний частиц перпендикулярно направлению скорости волны

Образуются ТОЛЬКО в твердых телах !!!

- **Продольные**



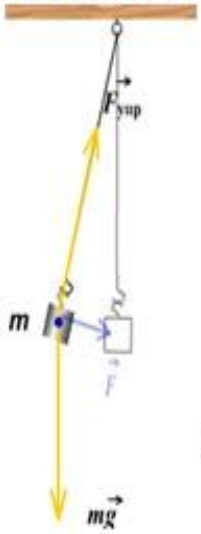

- В продольной волне колебания частиц происходят вдоль линии направления скорости волны.
- Образуются в твердых телах, жидкостях, в газах.

# Механические колебания

$T = \frac{t}{n}$ - период $\quad \nu = \frac{n}{t}$ - частота $\quad T = \frac{1}{\nu} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$

$\omega = 2\pi\nu$ - циклическая частота

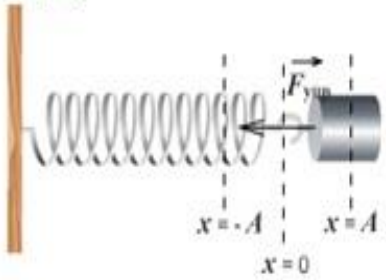
## Математический маятник




$\frac{mv_{max}^2}{2} = mgh_{max}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

## Пружинный маятник




$\frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kx_{max}^2}{2}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

$ma = kx$



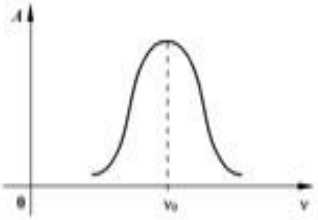

$x = x_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$

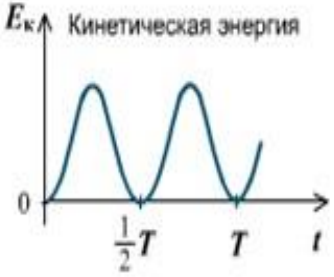
$v = x' = v_{max}\sin(\omega t + \varphi_0)$

$a = x'' = a_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$

## Резонанс

$\omega = \omega_0$

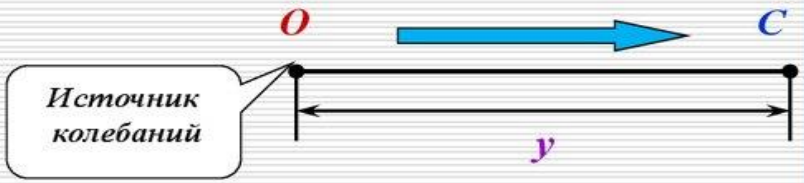


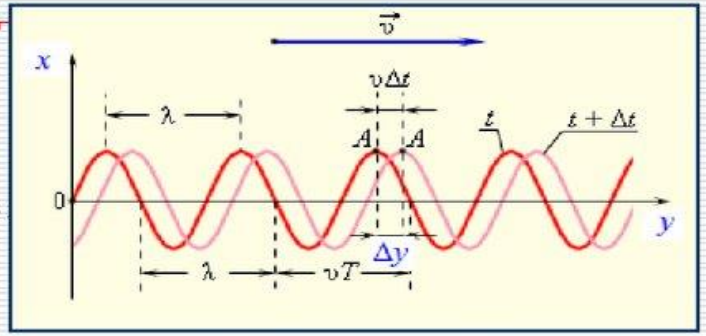





# Уравнение волны

*Колебательное движение* любой частицы волнового пространства *определяется уравнением волны.*




- Пусть в точке О находится источник колебаний (например, голосовые связки), и колебания совершаются по закону: $x(t) = A_0 \sin \omega t$
- В произвольной точке С на расстоянии y от источника волны колебания будут запаздывать на время Δt по сравнению с колебанием в точке О. Тогда закон колебаний в точке С:

$$x_c(t) = A_0 \sin \omega(t - \Delta t) = A_0 \sin(\omega t - \omega \Delta t)$$

Причём: $\Delta t = \frac{y}{v} = \frac{y}{\lambda \nu}$ и $\omega = 2\pi \cdot \nu$

- Значит: $x_c = A_0 \sin(2\pi\nu t - \frac{2\pi\nu \cdot y}{\lambda\nu}) = A_0 \sin(\omega t - \frac{2\pi \cdot y}{\lambda})$ - уравнение волны.

Следует запомнить 3 формулы уравнения волны, используемые в задачах:

- через время запаздывания Δt: $x_c = A_0 \sin \omega(t - \Delta t)$
- через скорость v механической волны: $x_c = A_0 \sin \omega(t - \frac{y}{v}) = A_0 \sin \frac{2\pi t}{T}(t - \frac{y}{v})$
- через длину волны λ: $x_c = A_0 \sin(\omega t - \frac{2\pi \cdot y}{\lambda})$

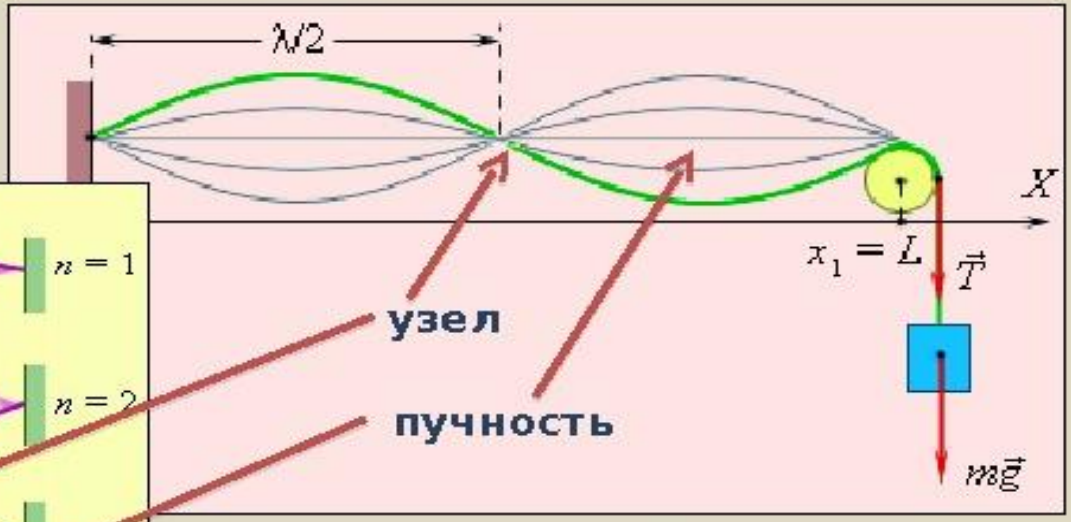
ие волны

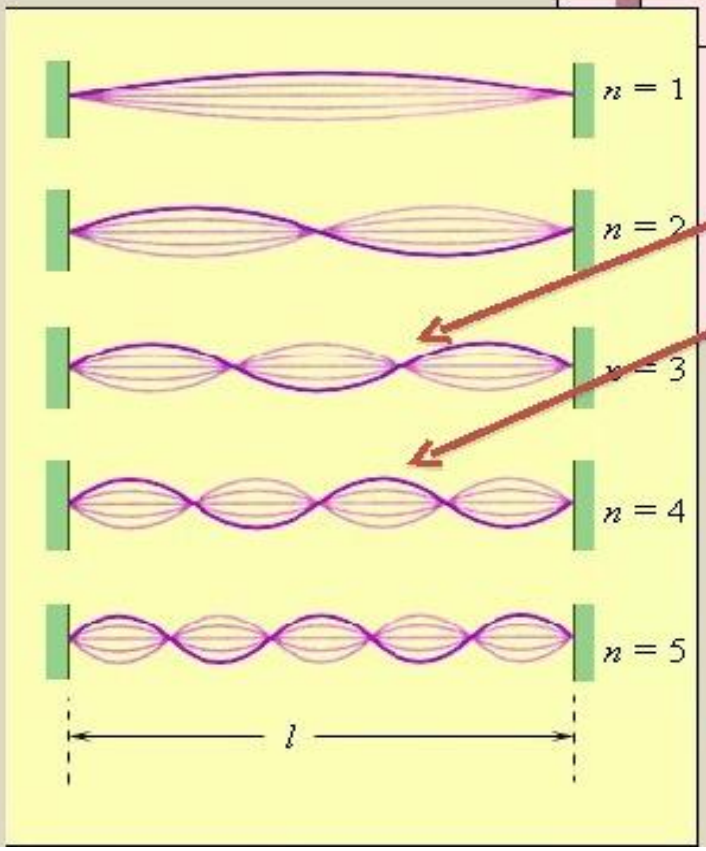


+7

# Стоячая волна






узел

пучность

- возникает при отражениях от преград и неоднородностей в результате наложения отражённой волны на
- [illegible] значение в месте отражения имеют частота, фаза и коэффициент затухания волны
- характерное расположение чередующихся max (пучностей) и min (узлов) амплитуды

# Энергия волны имеет 3 характеристики

1. *Поток энергии* $\Phi$ (*«фи большое»*) – это *энергия*, переносимая волной за единицу времени $t$ через некоторую поверхность, расположенную *перпендикулярно* направлению распространения волны: $\Phi = \frac{E}{t}$ (Вт/м²).

   Измеряется в СИ *в Ваттах (Вт)*. Она характеризует **мощность излучения волны**.

2. *Интенсивность* $I$ – это *поток энергии*, приходящийся *на единицу площади* поверхности: $I = \frac{\Phi}{S}$ (Вт/м²).

Причём: $$I = \frac{\Phi}{S} = \frac{E}{S \cdot t} = \frac{\frac{1}{2} m A_0^2 \omega_0^2}{S \cdot t} = \frac{\frac{1}{2} \rho S l A_0^2 \omega_0^2}{St} = \frac{1}{2} \rho A_0^2 \omega_0^2 \frac{l}{t} = \frac{1}{2} \rho A_0^2 \omega_0^2 \mathrm{v}$$

где: $\rho$ (*«ро»*) – плотность среды,

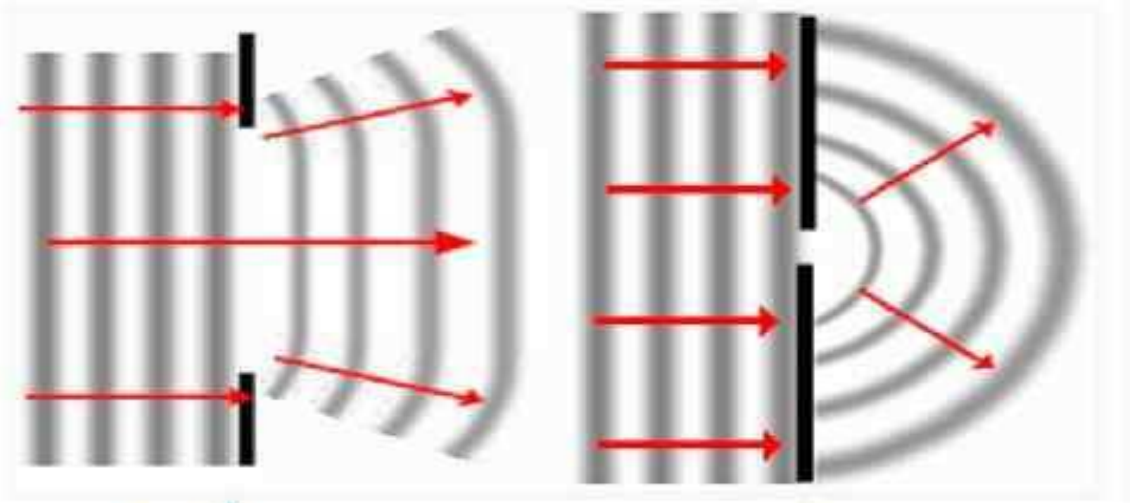
$\mathrm{v}$ – скорость распространения волны.

$$I = \frac{1}{2} \rho A_0^2 \omega_0^2 \mathrm{v}$$

Измеряется интенсивность в СИ *в Ваттах на метр квадратный* (Вт/м²).

*Это важнейшая характеристика любой волны.*

# Дифракция механических волн



Дифракция *не наблюдается*
(исключение: края преград)

$d > \lambda$

$\lambda$ – длина волны

Дифракция *наблюдается*

$d < \lambda$

$d$ – диаметр отверстия

# Отражение и прохождение волн на границе сред

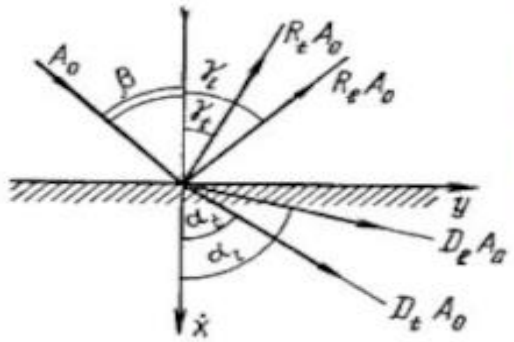
» При падении упругой волны на границу раздела двух сред происходит несколько явлений: отражение, преломление и трансформация.

»» Отражением называется изменение направления распространения волн на границе раздела, при котором волна не переходит в другую среду.

»» Преломлением называется изменение направления и скорости волны на границе раздела, при котором волна переходит в другую среду.

»» Трансформацией называют преобразование типа или поляризации волн, происходящее на границе раздела сред.

» В наиболее общем случае границы **двух твердых сред** возникает две отраженные (продольная и поперечная), две преломленные волны.




Отражение и преломление волн на границе раздела сред

**!! Для падающей, отраженных и преломленных волн отношение синуса угла (между направлением распространения и нормалью к поверхности раздела) к скорости волны есть величина постоянная.**

$$const = \frac{\sin\beta}{c} = \frac{\sin\gamma_l}{c^1_l} = \frac{\sin\gamma_t}{c^1_t} = \frac{\sin\alpha_l}{c^2_l} = \frac{\sin\alpha_t}{c^2_t}$$

Закон отражения и преломления для двух сред или закон Снеллиуса

# Математическое представление вибросигналов технического объекта

**Дифференциальное уравнение Максвелла свободных колебаний в матричной форме имеет вид:**

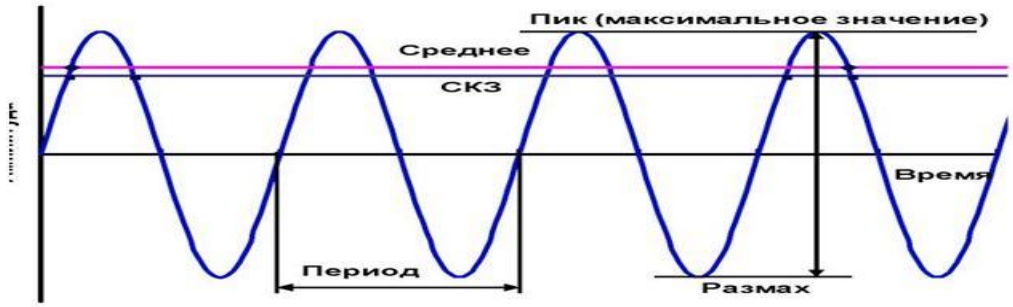
$$[A]\{\ddot{o}\}+[L]\{\dot{o}\}+[C]\{o\}=[q]$$

**Где** [A], [L], [C] - симметричные матрицы nxn коэффициентов инерции, демпфирования и жесткости механической системы;

$\{\ddot{o}\},\{\dot{o}\}\{o\}$ - столбец-матрицы ускорений, скорости, перемещений и действующих внешних сил.




**Механическая система**

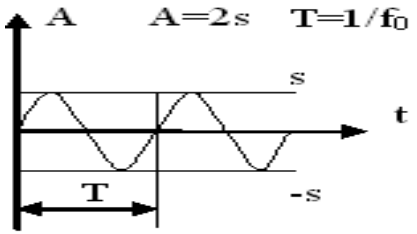


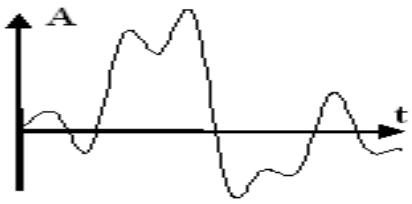

Временная реализация колебаний

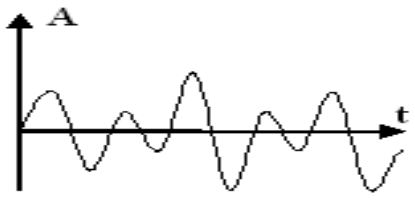
# Математические алгоритмы колебаний

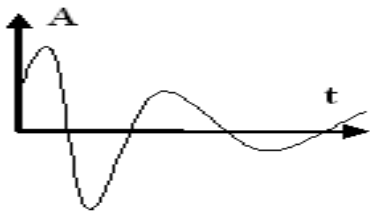
**Периодические**

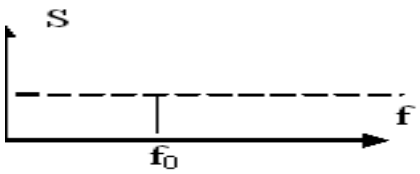
**Гармонические** | **Полигармонические** | **квазипериодические** | **Переходный**

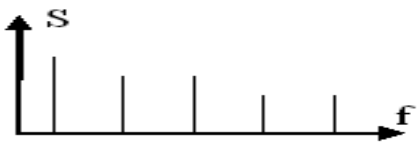


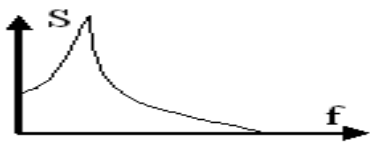










$$S(t) = s \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$S(t) = s \cdot \sin 2\pi f_0 t$$

**Формула Эйлер**

$$e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t$$

$$S(t) = Ae^{i(\omega t - \varphi)}$$

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos 2\pi nft + b_n \sin 2\pi nft)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\cos 2\pi n f_1 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\sin 2\pi n f_1 t dt$$

$$S(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos(2\pi n f_1 t - \varphi)$$

$$S_0 = \frac{a_0}{2}$$

$$S_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\varphi = \arcsin(b_n / a_n)$$

$$S(t) = \sum S_n \sin(2\pi n t + \varphi)$$

$$S(t) = \begin{cases} Ae^{-at}\cos bt, t > 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$$

$$S(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-2\pi i f t} dt$$

# Математические алгоритмы колебаний

- **Затухающие колебания**
- **Затухание колебаний–постепенное ослабление колебаний с течением времени, обусловленное потерей энергии колебательной системой.**
- Свободные колебания реальной системы всегда затухают. Причиной затухания
- механических колебаний является трение,
- электрических колебаний –тепловые потери в проводниках.

*Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний линейной системы:*

$$x = S \cdot \exp(-\delta \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_o),$$

*δ=const–коэффициент затухания,*

*ω–собственная циклическая частота колебательной системы (т.е. в отсутствие потерь энергии,δ=0).* $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}$. *Период затухающих колебаний*

$$A = \frac{F_{\max}}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\delta^2\omega^2}},$$ *-амплитуда затухающих колебаний*

# Автоколебания

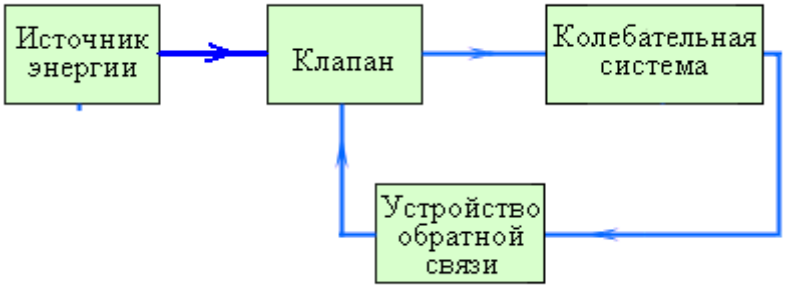



Схема механизм возникновения автоколебаний

Если источник энергии механически связан с системой возникают вынужденные колебания

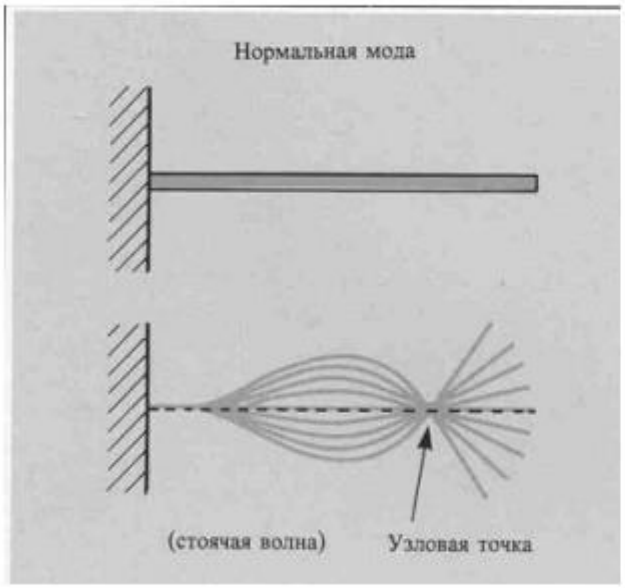
$$A = \frac{F_{max}}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\delta^2\omega^2}},$$ амплитуда вынужденных колебаний;

Резонанс – явление, когда частота собственных колебаний совпадает с частотой вынужденных колебаний

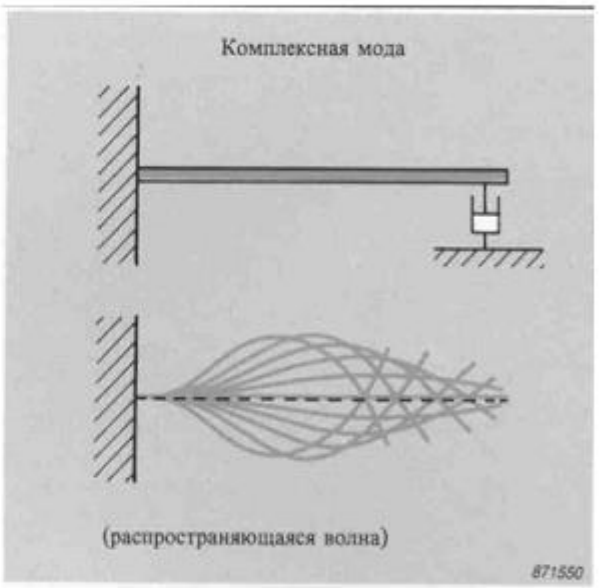
# Модальность колебаний

**Моды колебаний могут быть подразделены на два класса.**

**Нормальные моды характерны тем, что все части конструкции перемещаются в фазе или в противофазе (со сдвигом 180)° по отношении друг к другу. Поэтому модальные перемещения ψir представляют собой действительные величины, принимающие положительные или отрицательные значения. Нормальные моды можно рассматривать как стоячие волны с неподвижными узловыми линиями.**




Нормальная мода




Комплексная мода

# Модальный анализ

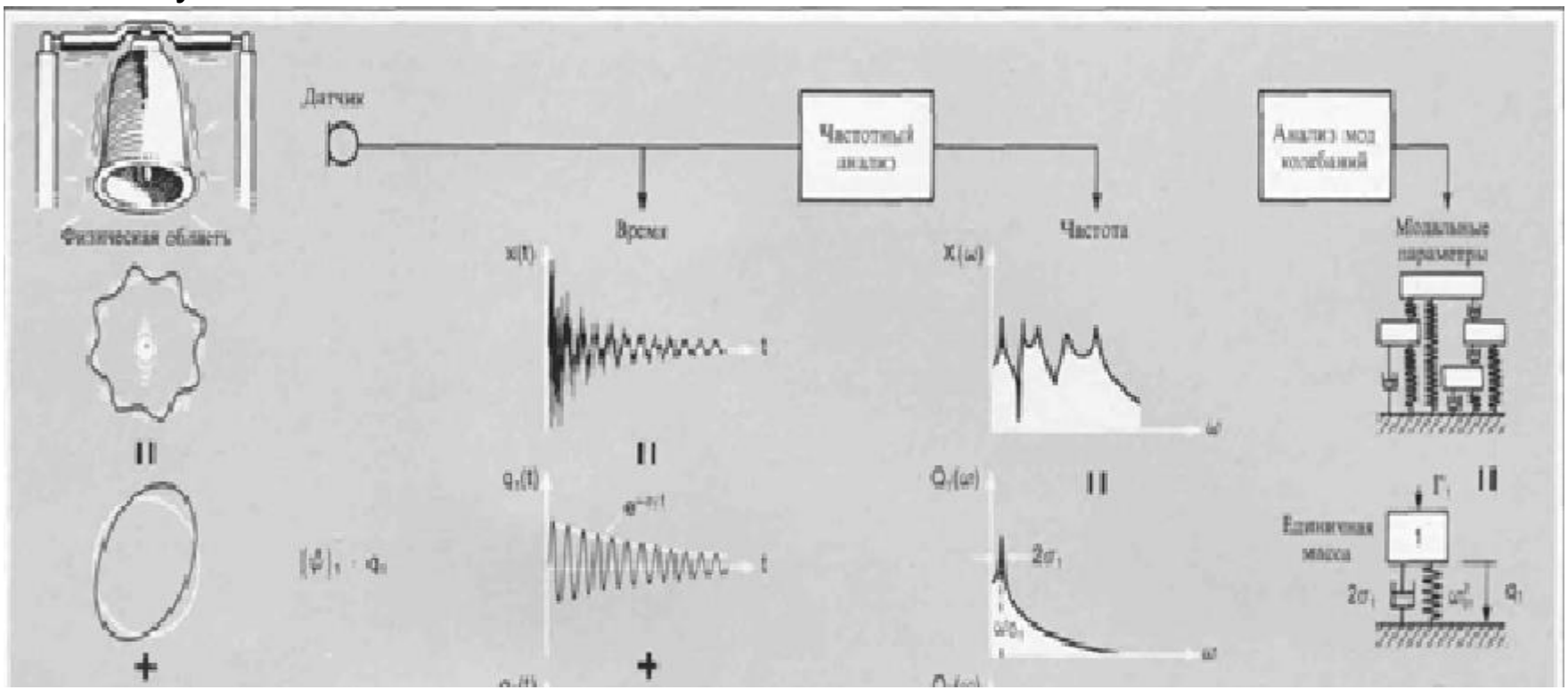
Модальный анализ – способ определения собственных частот колебаний конструктивных элементов и узлов и агрегата в целом.

Если определяется частота элемента - частота собственная;

Если сборки, узла или объекта – то определяются парциальные частоты.

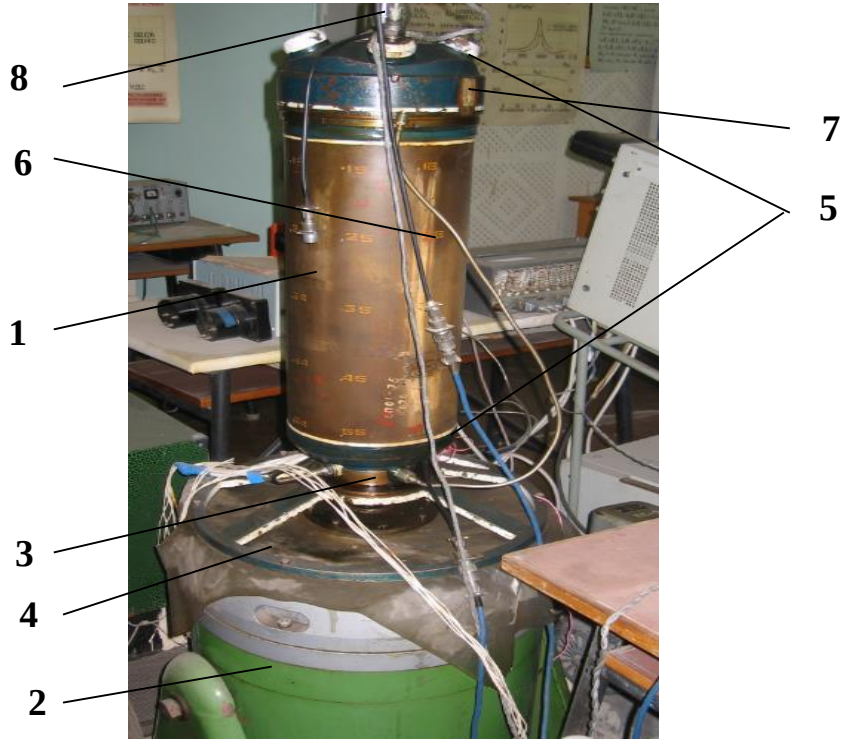
Способы проведения модального анализа:

1. Импульсный

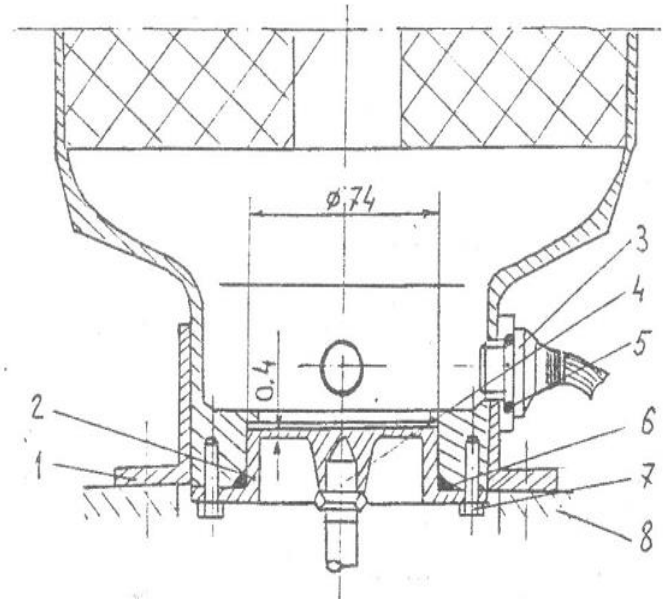


# Модальный анализ

## 2. Волновой способ

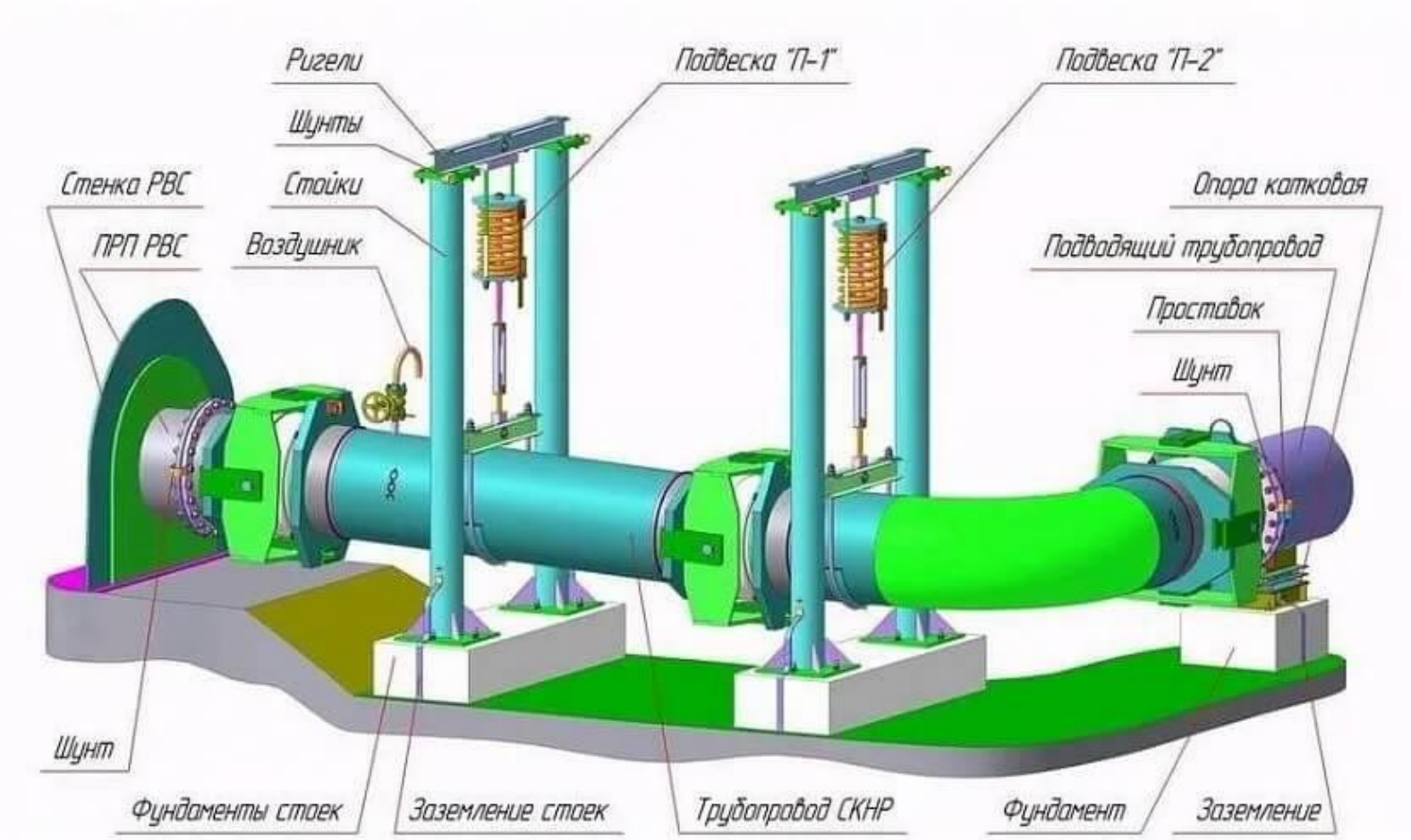



**Экспериментальная модельная установка:**
**1 – модельная конструкция, 2 – электродинамический вибратор с усилителем и частотомером, 3 – грузопоршневой манометр, 4 – ферма, 5 – датчики давления, 6 – рабочие тензоэлементы, 7 – компенсационные тензоэлементы, 8 – дренажный штуцер**

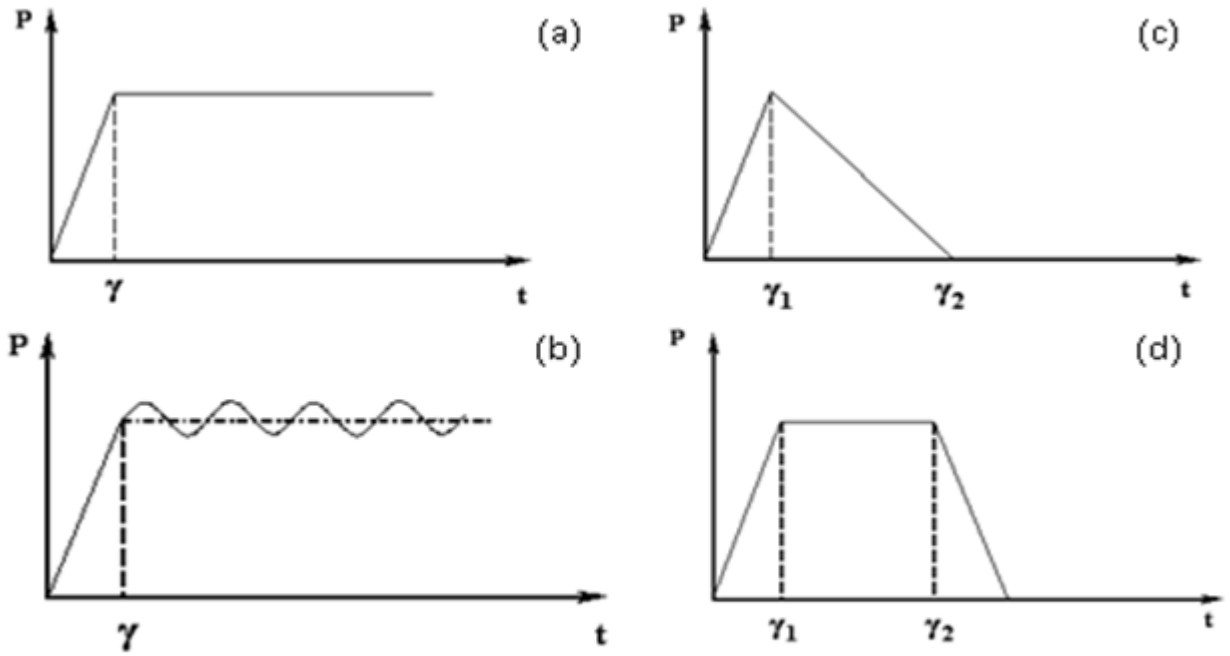



**Узел возбуждения колебаний давления:**
**1 - хомут, 2 – упругая мембрана, 3 – датчик давления ДДИ - 20, 4 – шток, 5 и 6 – уплотнение, 7 – винт, 8 – ферма**

# Динамические нагрузки на трубопровод



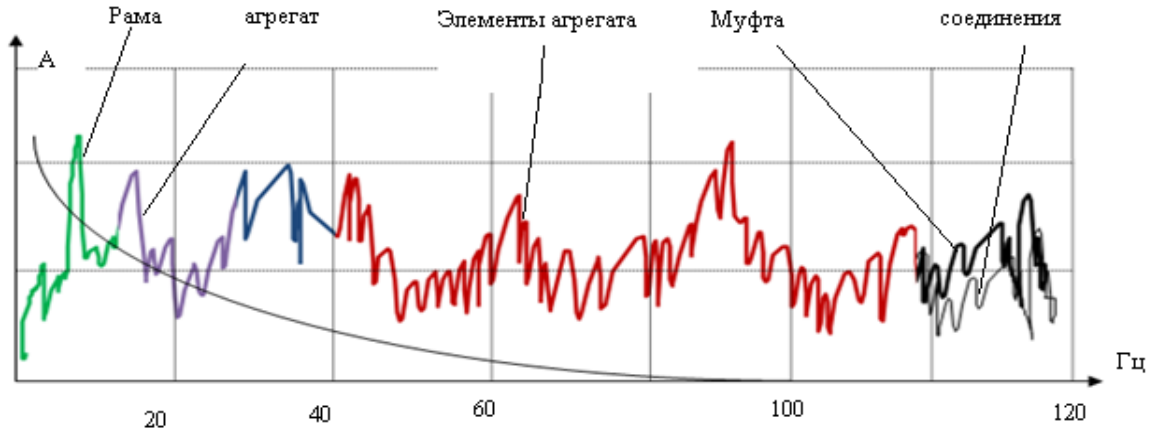
# Динамические нагрузки




Основные динамические нагрузки возникающие в трубопроводах при эксплуатации

a) открытие вентиля трубопровода при включении насоса по перекачке;
b) включение насоса на закрытую задвижку, то есть колебания внутреннего давления перекачиваемой среды с амплитудой близкой к уровню максимального давления насоса;
c) переключение в магистрали;
d) нагрузка, возникающая при гидроударах

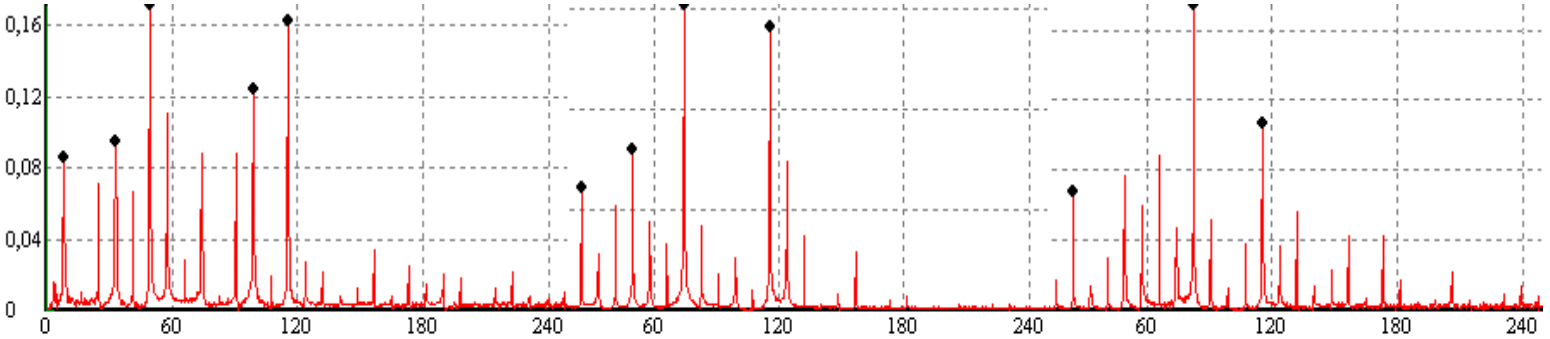
# Применение модального анализа в вибродиагностике




Спектры амплитуд объекта при модальном анализе

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega_к}{\omega_г}\right)^2\right)^2 + 4\xi_к \frac{\omega_к^2}{\omega_г^2}}}$$

Коэффициент динамического взаимодействия



# Передаточная функции

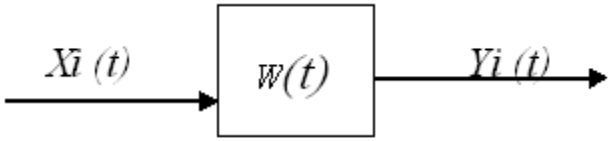



Схема преобразования вибрационной волны

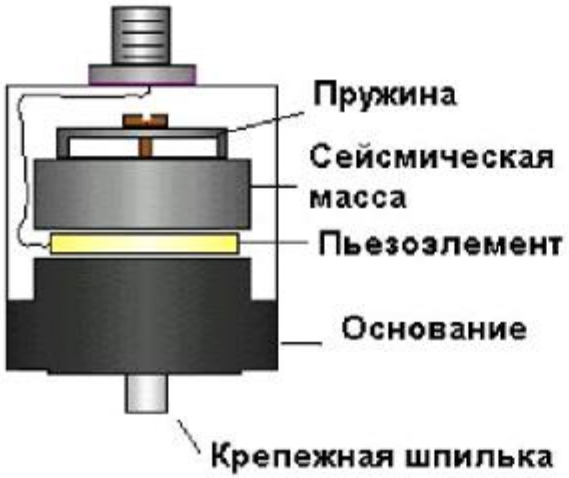
$$W(\omega) = Y_i(t) / X_i(t)$$

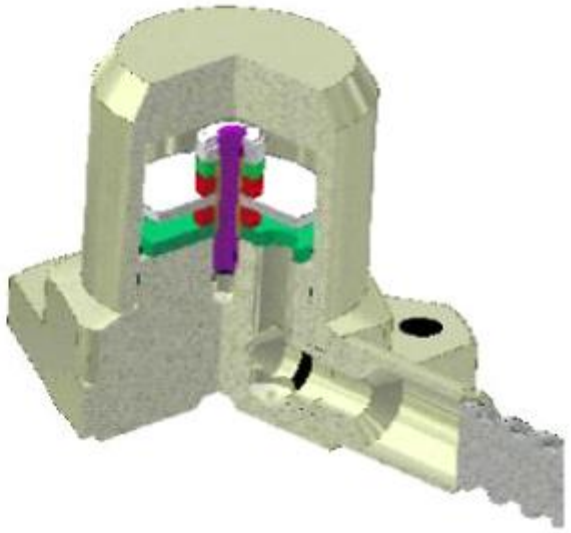
При рассмотрении передаточной функции «корпус - деталь» и «деталь - элемент» исследовательский процесс строится в частотном диапазоне собственных частот каждого из элементов объекта.

Для диагностирования знание передаточной функции позволит существенно повысить распознавание технического состояния диагностируемого технического или иного объекта

# Датчики измерения вибраций

$$F(t) = m \cdot \ddot{x}(t)$$



Разрез датчика Современный акселерометр

Так как заряд $Q(t)$ и напряжение $U(t)$ на пьезоэлектрическом элементе прямо пропорциональны величине этой силы, то на обкладках чувствительного элемента появляется заряд, пропорциональный ускорению:

$$Q(t) = F(t) \cdot d = m \cdot \ddot{x}(t) \cdot d = K \cdot \ddot{x}(t)$$

где $d$ - пьезомодуль керамики, ($d_{max}$ ?3•10$^{-10}$Кл/Н); $Q$ - заряд; $K$ - коэффициента преобразования потоку.

# Датчик скорости (велориметр)

Напряжение на выходе датчика пропорционально не только скорости v относительного перемещения катушки и магнита, но и длине проводника в катушке:

$$U_{ВЫХ} = -B \cdot l \cdot v = -B \cdot l \cdot x(t),$$

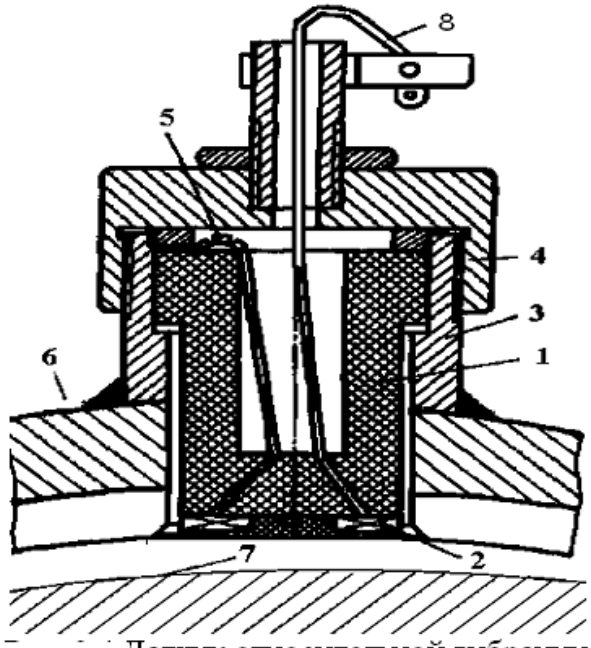
где $B$ - магнитная индукция, Тл; $l$ - общая длина проводника, находящегося в поле, м.




Датчик скорости (велосиметр)

# Датчик перемещений

Важно понимать, что этот датчик измеряет относительное смещение подшипника и цапфы, а не общий уровень вибрации вала или корпуса. Обычно датчики зазора устанавливают на больших машинах с подшипниками скольжения. В этом случае они используются для своевременного обнаружения неисправностей подшипников и аварийного отключения оборудования.




Датчик относительной вибрации

# Математическое представление вибрационного сигнала

- Простейшим видом периодических колебаний являются моногармонические колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону $x(t) = C \cdot \cos(\omega \cdot \tau + \varphi)$.
- Полигармонический колебательный процесс может быть представлен в виде суммы нескольких моногармонических колебаний с частотами, находящимися между собой в рациональном отношении:

$$x(t) = \sum_{k=1}^{n} C_k \cdot \cos(\omega_k \cdot t + \varphi_k)$$

- ***Квазиполигармоническая модель*** процесса возбуждения колебаний основана на представлении колебаний в виде суперпозиции узкополосных случайных процессов с кратными средними частотами. Квазиполигармоническая модель более адекватно описывает процесс возбуждения колебаний, чем полигармоническая. Размытие линий спектра квазиполигармонической модели колебаний по отношению к дискретным составляющим полигармонической модели не является недостатком.
- непериодических колебаний может давать бесконечно большую сумму гармонических составляющих, расстояние между спектральными линиями которых становится бесконечно малым, что превращает спектр из дискретного в непрерывный (сплошной).
- Большинство колебательных процессов, с которыми приходится встречаться на практике, носят в той или иной степени случайный характер, при этом текущие значения процесса могут быть определены лишь с некоторой вероятностью. Случайный колебательный процесс может быть представлен совокупностью статистических характеристик, постоянных или переменных во времени.

# Распознавание по диагностическим признакам

- Признаки распознавания состояния могут быть разделены на:
- - детерминированные
- - вероятностные
- - логические
- - структурные
- Детерминированные – это признаки принимающие конкретные числовые значения, которыми могут рассматриваться в качестве исходной точки в пространстве признаков, соответствующей данному состоянию.
- Вероятностные признаки – признаки, случайные значения которых распределены по всем классам состояния. Признаки распозноваемых состояний следует рассматривать как вероятностные и в случае, если измерение их числовых значений определен ошибочно.
- Логические признаки можно рассматривать как элементарные высказывания, имеющих два значения «да, нет» или «истина-ложь» с полной определенностью эти признаки не имеют конечных выражений.
- Структурные (лингвистические, символьные) признаки представляют собой непроизвольные элементы (символы) структуры распозноваемого явления. Иначе эти элементы (контакты) называются терминами.  Каждое распознаваемое состояние может рассматриваться как цепочка понятий или как предположение. Если предположение, описывающее распозноваемое состояние и принимается принадлежащим к определенному у классу.

# Испольнуемые признаки вибродиагностики

**Виброперемещение , виброскорость и виброускорение**,

- ***Максимальная амплитуда (Пик)*** - это максимальное отклонение от нулевой точки, или от положения равновесия.
- ***Размах (Пик-Пик)*** - это разность между амплитудами положительного и отрицательного пиков. Для синусоидального колебания размах в точности равен удвоенной пиковой амплитуде, так как временная реализация в этом случае симметрична. Однако, в общем случае это неверно для полигармонического, случайного процессов и их смеси.
- ***Среднеквадратическое значение амплитуды (СКЗ)*** равно квадратному корню из среднего квадрата амплитуды колебания, т.е. для расчета СКЗ необходимо возвести в квадрат мгновенные значения амплитуды колебаний, и усреднить получившиеся величины по времени. На практике среднеквадратичное значение определяется:

**частота**

- ***Период колебаний*** (*T*) - это интервал времени, который необходим для завершения одного цикла колебания. В зависимости от быстроты колебаний, период измеряют в секундах, миллисекундах, микросекундах и т.д.
- ***Частота колебаний*** *(f* = 1/*T)* - величина обратная периоду, определяет количество циклов колебания за период и измеряется в Герцах (1 Гц=сек$^{1}$). Для роторных машин частота основного колебания соответствует частоте вращения, которая измеряется в *об/мин (мин$^{1}$)* и определяется как: $n = f \cdot 60$, где *f* - частота в *Гц,* т.к. в минуте 60 секунд.

**фазовый угол**

- Смещение угла гармонического колебания во времени относительно фактического колебания в механической системе

# Обработка вибросигналов

**Уравнение полигармонических колебаний имеет вид:**

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos 2\pi nft + b_n \sin 2\pi nft)$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\cos 2\pi n f_1 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\sin 2\pi n f_1 t dt$$

$$S(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos(2\pi n f_1 t - \varphi)$$

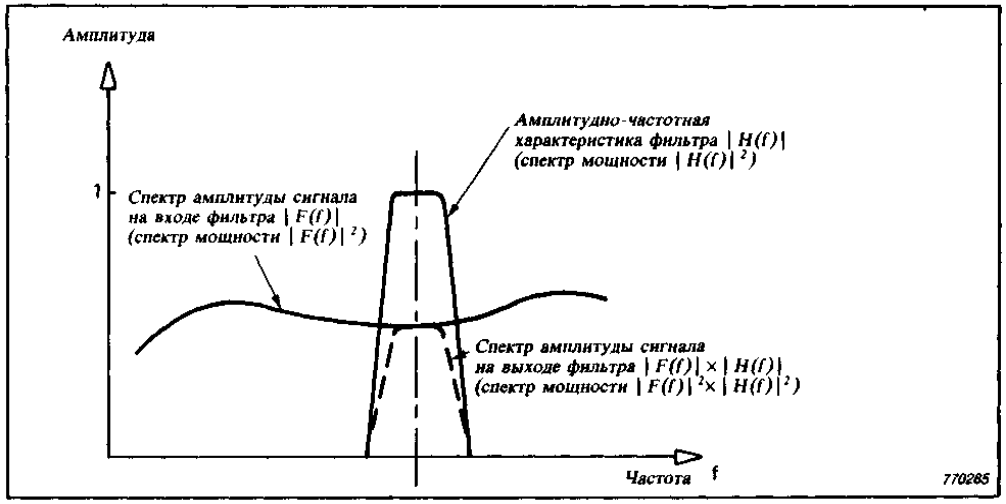
$$S_0 = \frac{a_0}{2}$$

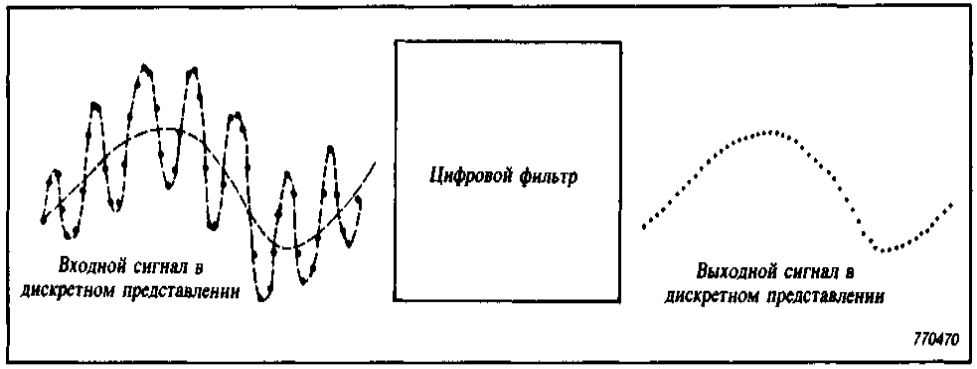
$$S_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\varphi = \arcsin(b_n / a_n)$$

.

# Фильтрация сигнала по мощности




**Полосовые фильтры**

**Октавные: 16 Гц; 32 Гц; 64 Гц; 125Гц; 250 Гц; 500 Гц; 1000Гц; 2500Гц…**
**Полуоктавные,**
**1/3 октавные**
**- Аналоговые фильтры**

**Частотные фильтры**
**1. Низкие частоты**
**от 0 до 100 Гц**
**2. Средние частоты**
**От 100 до 1000 Гц**
**3. Высокие частоты**
**Свыше 1000 Гц**
**4. Задаваемые полосы пропускания по частоте**

# Анализ помех в системе регистрации сигнала

Принятый сигнал можно представить в следующем виде:

$s(t) = k(t)s_1(t) + m(t)$ , где $s_1(t)$ - полезная часть сигнала; $k(t)$ и $m(t)$ - помехи.

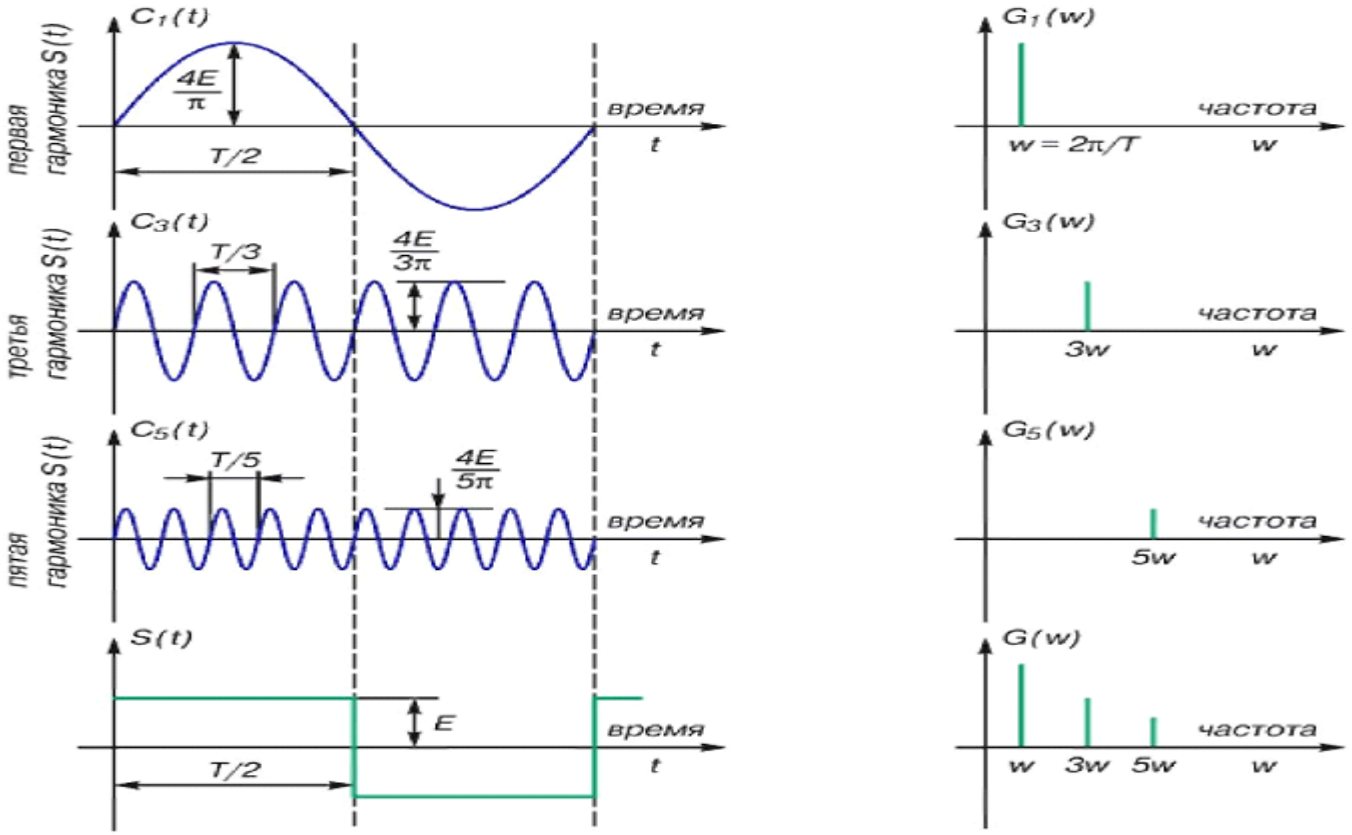
Первую из помех называют мультипликативной, вторую - аддитивной. Аддитивная помеха присутствует на выходе канала даже при отсутствии сигнала; мультипликативная появляется только совместно с сигналом.

В виброакустической диагностике существуют следующие источники помех:

- - нестабильность внешних условий, в которых работает механизм. С этим источником связаны как мультипликативные, так и аддитивные помехи.Так, флуктуации скоростного режима и нагрузки механизма вносят в сигнал мультипликативную помеху;
- наложения на сигнал, генерируемый исследуемой кинематической парой, колебаний, возбужденных другими парами механизма. Эта помеха аддитивна;
- неполнота описания состояния, например, кинематической пары, выбранной совокупностью параметров. Так, состояние подшипника качения часто описывается всего одним параметром - радиальным зазором, а между тем, на форму сигнала влияют и другие, неучитываемые свойства подшипника, например, волнистость беговых дорожек, овальность колец, качество посадки подшипника на вал и в гнездо и т.д. Влияние этих факторов следует рассматривать как аддитивную помеху, если их определение не входит в задачу диагностики;
- аппаратурные помехи, возникающие в цепях диагностической аппаратуры.

# Частотный анализ вибрационного сигнала

Спектр является важнейшей характеристикой сигнала и отражает все его свойства. Зная спектр можно восстановить сигнал. В этом смысле представления сигнала в виде функции времени и в форме спектра (в виде функции частоты) *равнозначны*. Но для решения конкретной задачи бывает удобнее то или другое представление сигнала, поэтому рассматривают его в двух аспектах: во временном и спектральном.




Представление прямоугольного импульса суммой гармонических составляющих

# Преобразования Фурье

Поскольку любой сигнал $s(t)$ существует на конечном интервале времени $0 \prec t \succ T$ и интересует его форма только на этом интервале, то ничто не мешает считать его периодическим вне указанного интервала. Можно предположить, что

$$s(t) = s(t+T).$$

Интервал $(0,T)$, на котором задан сигнал, рассматривается как один из его периодов, вне которого форма сигнала повторяется. Но возможен и другой подход, при котором считается, что до момента времени $t = 0$ сигнала не было, вернее он был равен нулю, а также и после момента $t = T$ он стал равен нулю. При таких предположениях суммы в формулах и следует заменить интегралами. Ряд Фурье переходит в интеграл

$$s(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{i\omega t}\,d\omega$$

а формула выражающая спектр сигнала, принимает вид

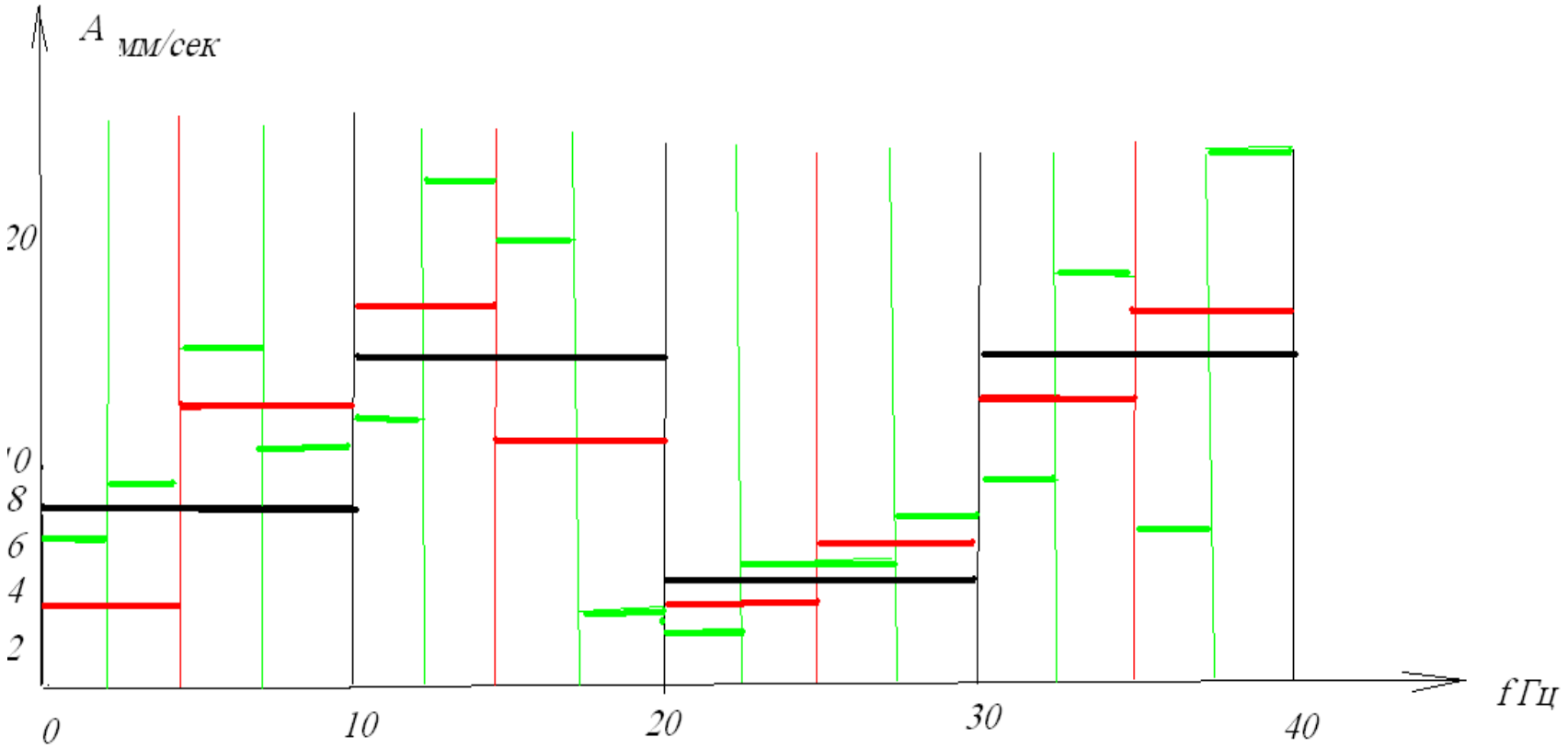
$$s(t) = \int_{0}^{T} s(t)e^{-i\omega t}\,dt$$

В общем случае, когда не уточнено значение $T$, спектральная плотность записывается в виде

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-i\omega t}\,dt$$

Соотношение спектральной плотности являются соответственно прямым и обратным ***преобразованием Фурье.*** Функция $S(\omega)$ называется ***спектральной плотностью***. Ее модуль $|S(\omega)|$ характеризует распределение интенсивности гармонических составляющих сигнала $s(t)$ по частотам. Величина $|S(\omega)\,dt$

# Соотношение параметров дискретизации при спектральной обработке

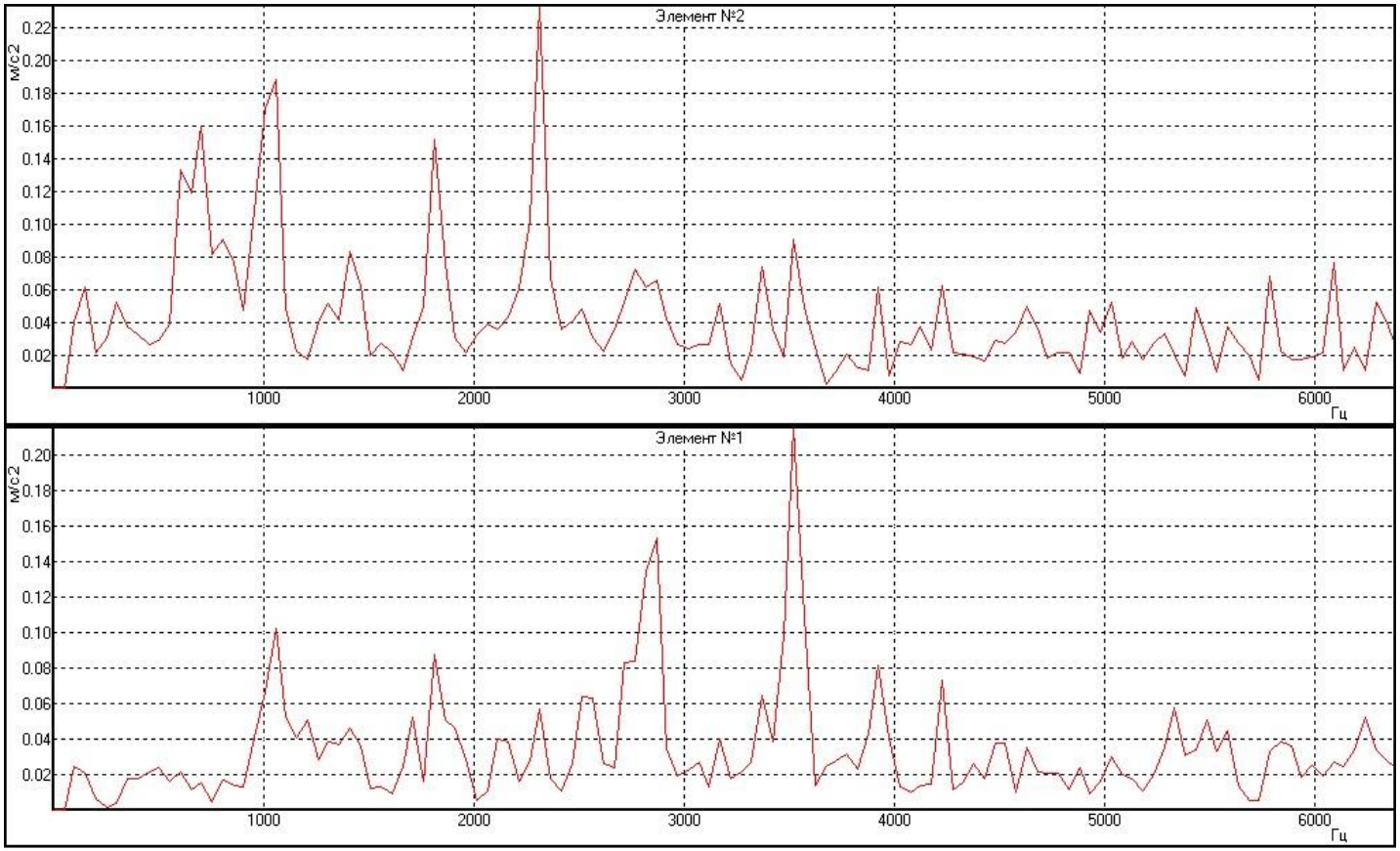



*Распределение энергии колебаний по ширине спектральной полосы*

# Огибающая спектра

Ломаная линия, соединяющая центры мощности колебаний по полосам, носит название огибающей спектра

По спектру амплитуд нельзя восстановить первоначальную форму сигнала, однако амплитудный спектр обычно вскрывает такие свойства сигнала, ради которых и прибегают к спектральному представлению.



# Свойства огибающей спектра

Преимущества:

- Интенсивность распределения колебательной энергии по частотам;
- Выделение источников возможных возбуждений колебаний;
- Определение распределения по модам колебаний исследуемого агрегата;
- Формирование допустимых уровней изменения колебательной энергии агрегата – постановка задачи мониторинга объекта или определение уровня технического состояния элементной базы объекта;
- Составление временного тренда для определения остаточного ресурса;
- Формирование наглядных соотношений при построении биспектров.

Недостатки:

- Невозможно структурировать род и вид дефекта по одному измерению вибраций на объекте, особенно при зарождении дефекта в его элементной базе – выделение элемента;
- Невозможно восстановить форму временного сигнала по его спектру;
- Требуется значительный практический опыт работы с определенным оборудованием и сопоставлением спектральных его портретов работы.

# Кепстральный анализ сигнала

Кепстр мощности был предложен в качестве алгоритма при обнаружении эха в сейсмических сигналах. Поскольку соответствующая функция по определению отображала спектр спектра придали этой функции название «кепстр». Аналогичным образом возникли и термины «квефренция» (quefrency), «рагмоника» (rahmonic), «лифтр» (lifter), «гамнитуда» (gamnitude) и «сафе» (saphe), основанные на аналогии с английскими терминами для частоты (frequency), гармоники (harmonic), фильтра (filter), модуля (magnitude) и фазы (phase). Термины кепстр, квефренция и рагмоника нашли широкое применение

Согласно исходной дефиниции кепстр мощности определен выражением

$$C_{AA}(?) = | F\{ log S_{AA}(f) \} |^2$$

в котором (двусторонний) спектр мощности $S_{AA}(f)$ сигнала $a(t)$ задан выражением

$$S_{Aa}(t) = |F\{a(t)\}|^2,$$

причем штрихом отмечено усреднение по ансамблю определенного числа реализаций (усреднение осуществляется по мере надобности).

С учетом новой и используемой в настоящее времени дефиниции определяющее кепстр мощности выражение имеет вид

$$C_{AA}(?) = F^1 \{log S_{AA}(f)\}$$

Ниже будет показна целесообразность применения соответствующего аналитического сигнала, определяемого на основе логарифма (одностороннего) спектра мощности $T_{AA}(f)$ по выражению

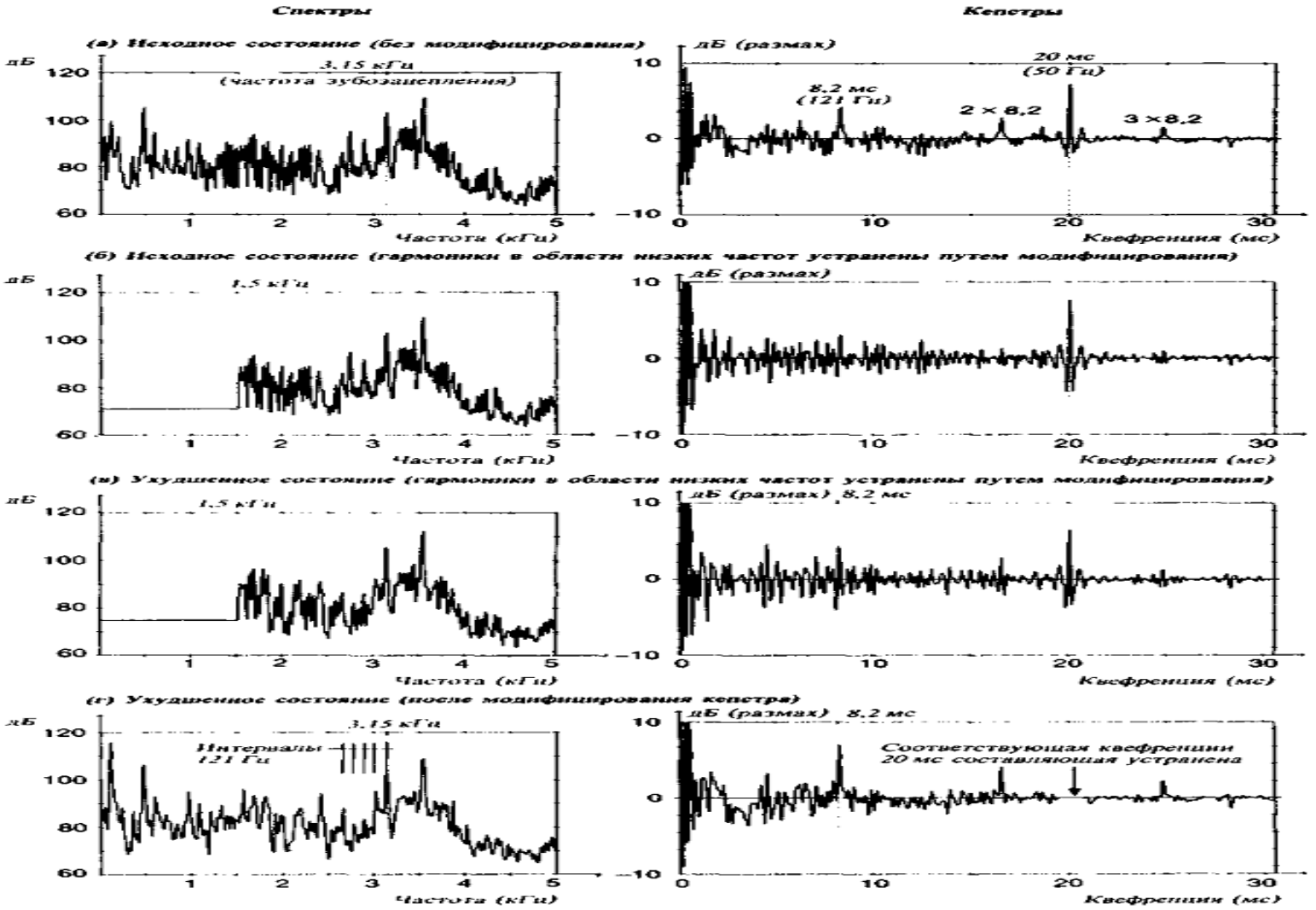
$$C_{AA}(?) = F^{-1}\{\Gamma_{AA}(f),$$

где $\Gamma_{AA}(f) = 2 \log S_{AA}(f)$ , $f > 0$ ;

$\Gamma_{AA}(f) = \log S_{AA}(f)$, $f = 0$;

$\Gamma_{AA}(f) = 0$ , $f < 0$

# Определение элементной базы объекта



# Исследование волновым методом трубопроводов

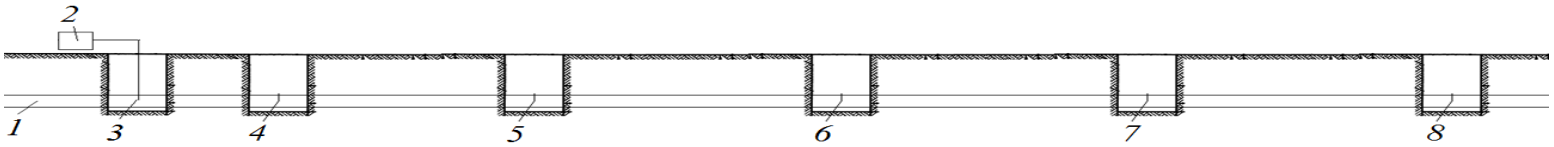
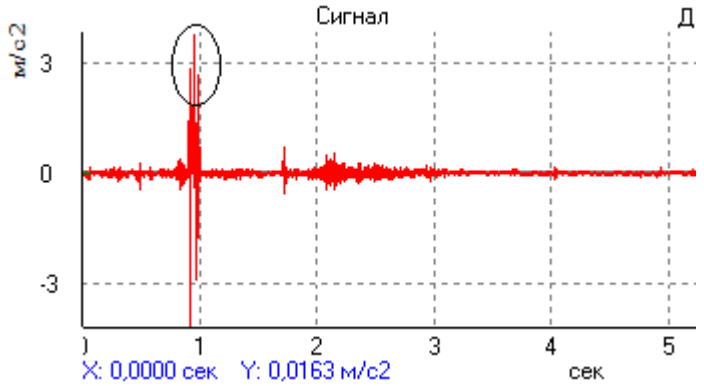


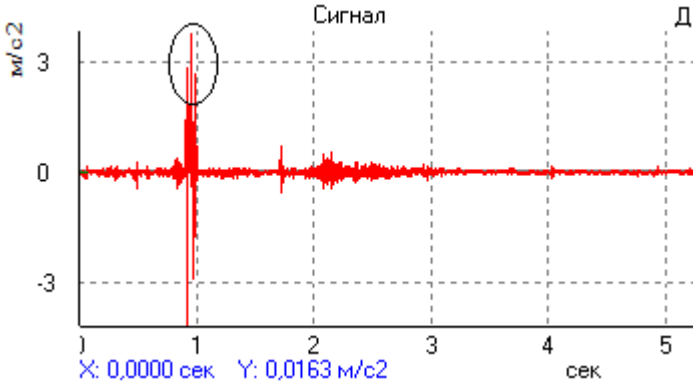

Схема проведения замеров при шурфовнии трубопровода.



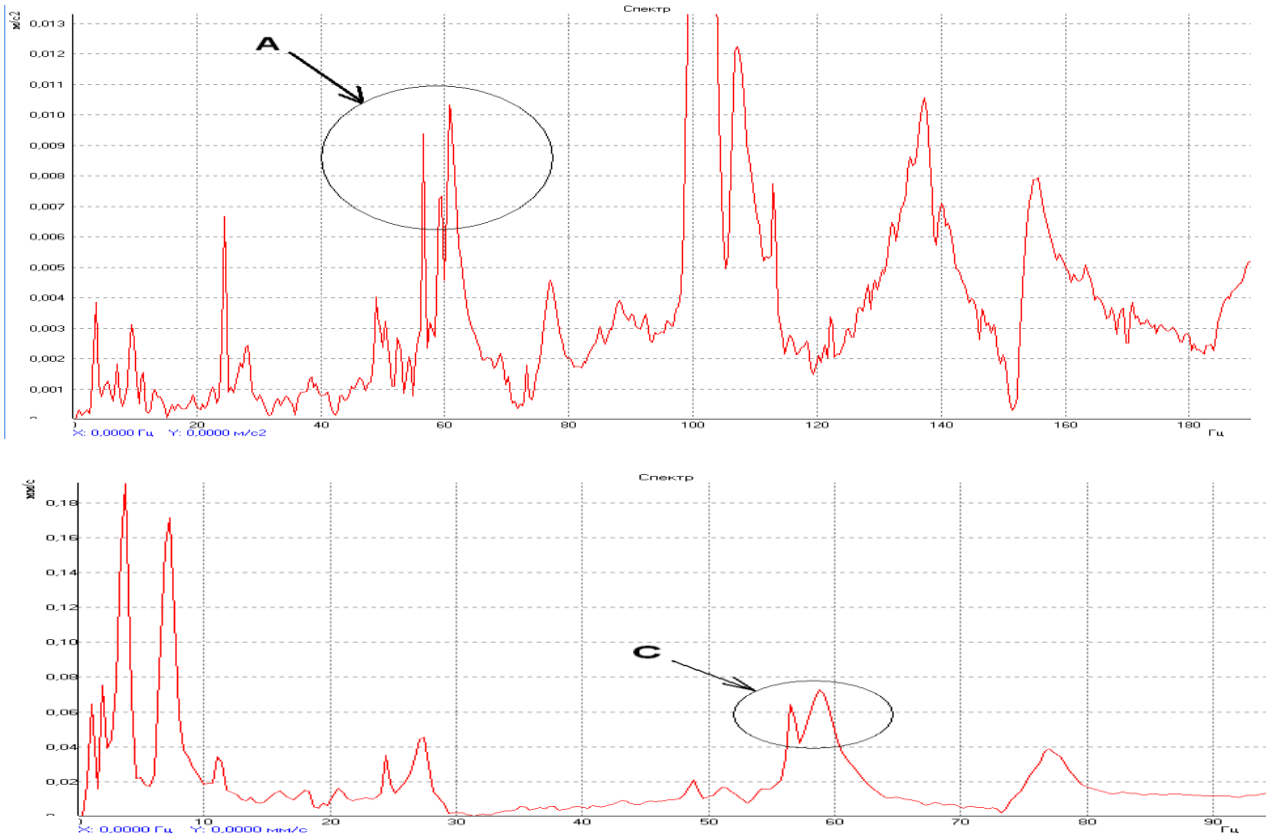
Пример крепления датчика на трубопровод




Пример сигнала, пришедшего на принимающий датчик.
(а) – сигнал в точке произведения импульсной нагрузки;
(б) – сигнал в точке приемного датчика с расстоянием 100 м от точки приложения



# Обработка сигналов  и анализ результатов



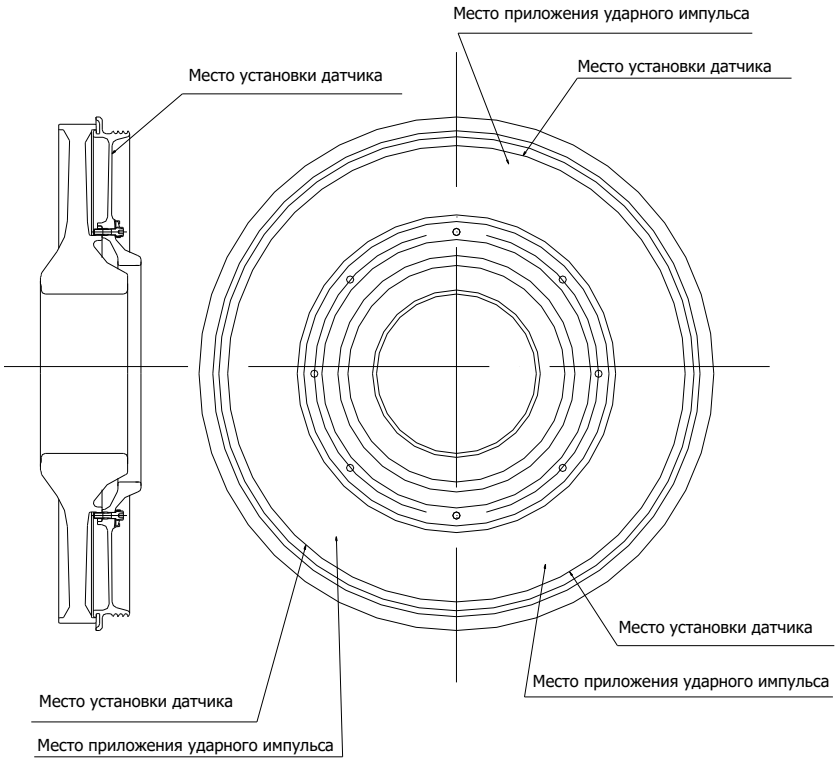
# Средства измерения и контроля технического состояния

**Переносной многоканальный программно-аппаратный комплекс «Камертон» предназначен:**

- для обнаружения опасных для эксплуатации несплошностей и трещин в арматуре и других изделиях из различных по твердости материалов
- для определения качества сварных и фланцевых соединений различного оборудования, в том числе: трубопроводов, роботов вращающихся машин, лопаточного аппарата рабочих колес насосов, вентиляторов, турбин, нагруженных металлоконструкций станков-качалок и другого технологического оборудования;
- для вынесения заключения о возможности продления ресурса дальнейшей эксплуатации.

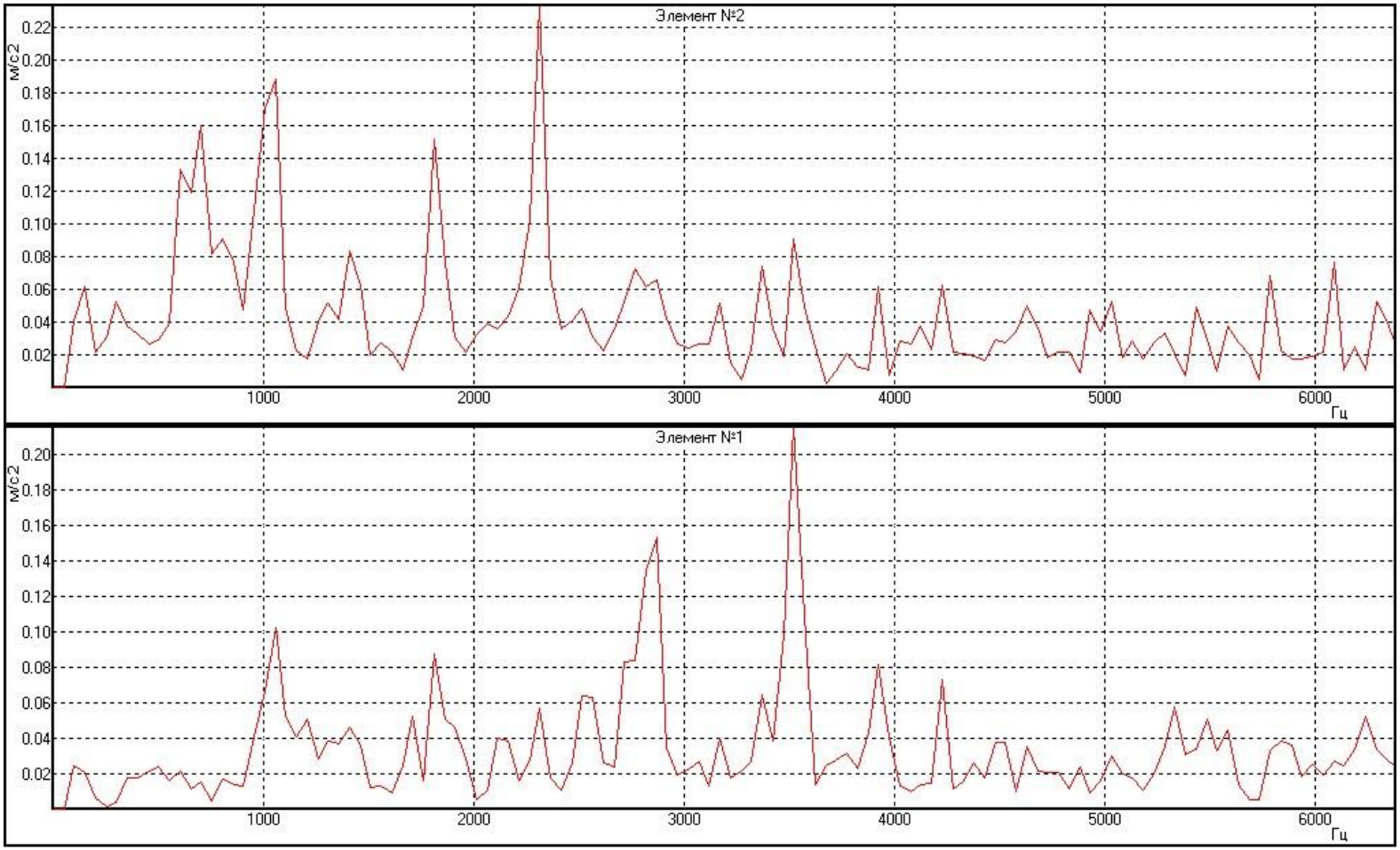


# Опытная эксплуатация для авиадвигателей




**Метод испытывался для дефлектора 2 ступени ТВД двигателя ПС-90А, а так же рабочих колес “0” ступени компрессора двигателя ПС-90ГП-2 Результаты опробования метода показали достаточную эффективность определения их дефектного состояния методом вибрационной диагностики**

# Дефлекторы, имеющие дефекты по лапкам “пушечного” замка



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

# Выбор материалов покрытий для защиты внутренней и наружной поверхности металлических фитингов от коррозии.

Докладчик:
Директор по развитию, к.х.н.
Веревкин Александр

# Проблемы соединительных элементов



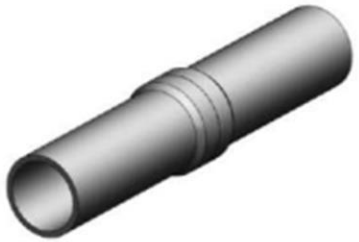



Основные способы антикоррозионной защиты трубопроводов:

1. Ингибирование;
2. ЭХЗ;
3. Выбор коррозионностойких материалов;
4. Защитные покрытия.

# Способы соединений

**Сварное соединение ПАТ**



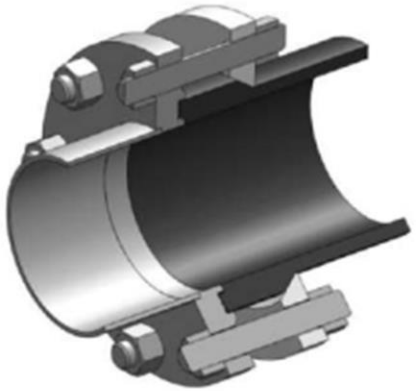
**Неразъёмное соединение ПАТ со стальными трубами**



**Сварное соединение ПАТ усиленное муфтой с ЗНЭ**



**Фланцевое соединение ПАТ со стальными трубами**

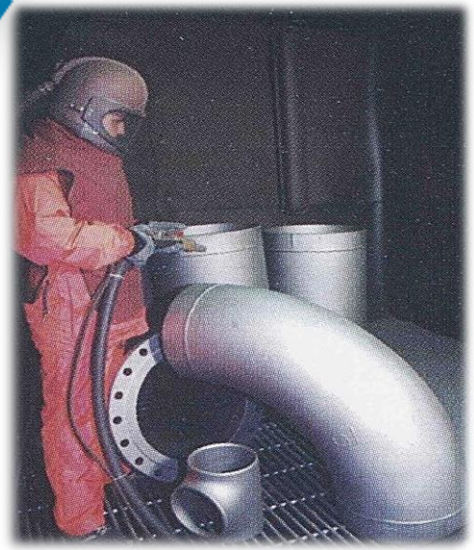


**Фланцевое соединение ПАТ**



# Этапы нанесения покрытия

## Абразивная очистка



## Грунтовочная камера и краскораспылительное оборудование





## Печь предварительного нагрева

Нагрев соединительных деталей в газовой (электрической) печи до температуры 190±5 °С перед нанесением эпоксидного покрытия.

## Печь отверждения покрытия

Окончательная полимеризация двухслойного эпоксидного покрытия соединительных деталей в газовой печи проходного типа при температуре ~200-220±5 °С в течение 20-30 мин с последующим воздушным охлаждением.



- **Фланцы с внутренним полимерным покрытием** на основе эпоксидных порошковых красок П–ЭП-585, П–ЭП-585Т, двухкомпонентных эпоксидных составов в соответствии с ТУ 1468-001-92261406-2012, ГОСТ Р 58346-2019;
- **Фланцы с наружным полимерным покрытием** на основе эпоксидных порошковых красок П–ЭП-585, П–ЭП-585Т, термореактивных полиуретановых материалов в соответствии с ТУ 1468-001-92261406-2012, ГОСТ Р 51164-98, ГОСТ 9.602-2016.

# Стандарты на наружные изоляционные покрытия

Основным стандартом на наружные покрытия является ***ГОСТ 51164-98*** «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии»

Так же в отрасли применяется ***ГОСТ 9.602*** Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии

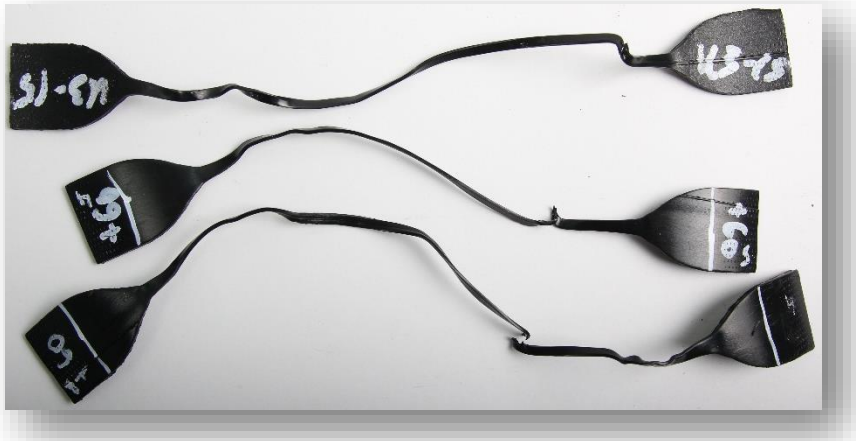
Практически не применим (в практике ООО «НПЦ «Самара» встречался единожды) ***ГОСТ 52568-2006*** ТРУБЫ СТАЛЬНЫЕ С ЗАЩИТНЫМИ НАРУЖНЫМ ПОКРЫТИЯМИ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

***ГОСТ 53384-2009*** ТРУБЫ СТАЛЬНЫЕ И ЧУГУННЫЕ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ и ***ГОСТ 31445-2012*** Трубы стальные и чугунные с защитными покрытиями. Технические требования ***НЕ ПРИМЕНИМЫ*** и содержат противоречивые и не выполнимые требования. В ТК357 поднимался вопрос об отмене данных стандартов.

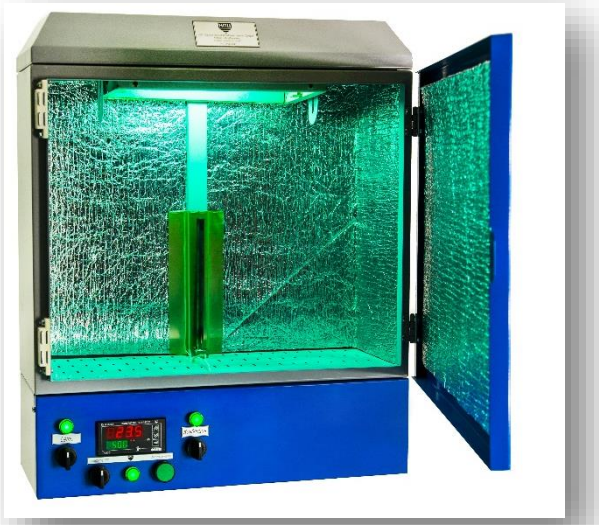
# Определение прочности и относительного удлинения при разрыве.







## Стойкость к воздействию УФ радиации в потоке 600 кВт·ч/м при температуре 323 К (50 °С)



## Стойкость к растрескиванию при температуре 323 К (50 °С)



## Выдержка в течение 1000 часов при температуре 100°С (термостарение)

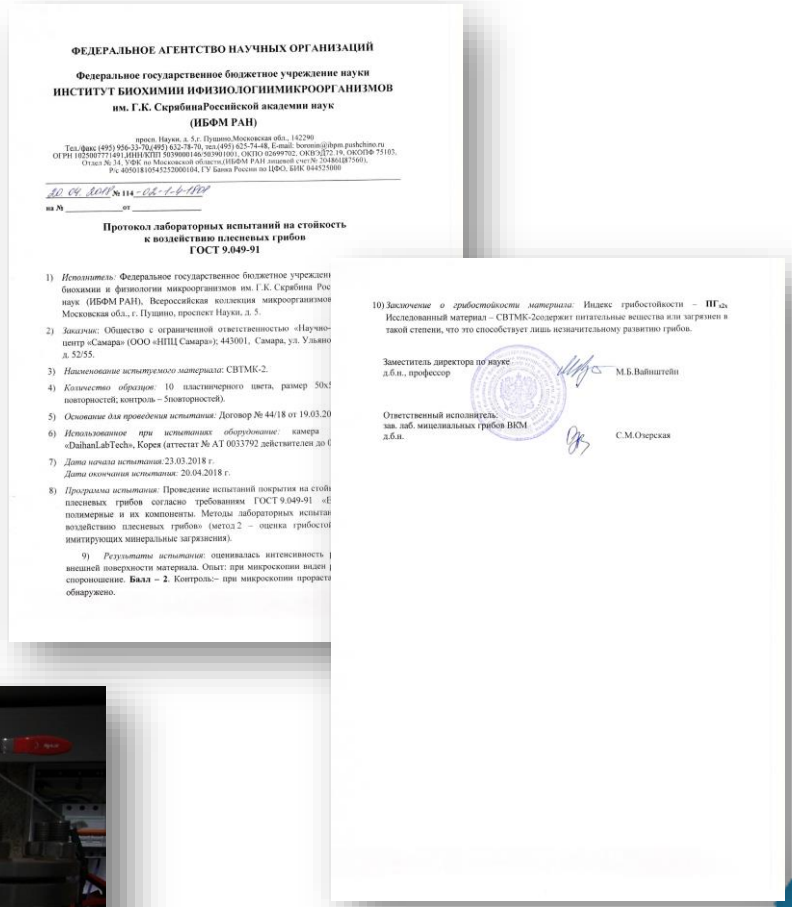


## Водостойкость адгезии или адгезия к стали после выдержки в воде в течение 1000 ч





## Грибостойкость



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ БИОХИМИИ ИФИЗИОЛОГИНИМИКРООРГАНИЗМОВ
им. Г.К. СкрябинаРоссийской академии наук
(ИБФМ РАН)

Протокол лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов ГОСТ 9.049-91

10) *Заключение о грибостойкости материала:* Индекс грибостойкости – ПГ$_{42ч}$ Исследованный материал – СВТМК-2содержит питательные вещества или загрязнен в такой степени, что это способствует лишь незначительному развитию грибов.

Заместитель директора по науке
д.б.н., профессор М.Б.Вайнштейн

Ответственный исполнитель
зав. лаб. мицелиальных грибов ВКМ
д.б.н. С.М.Озерская

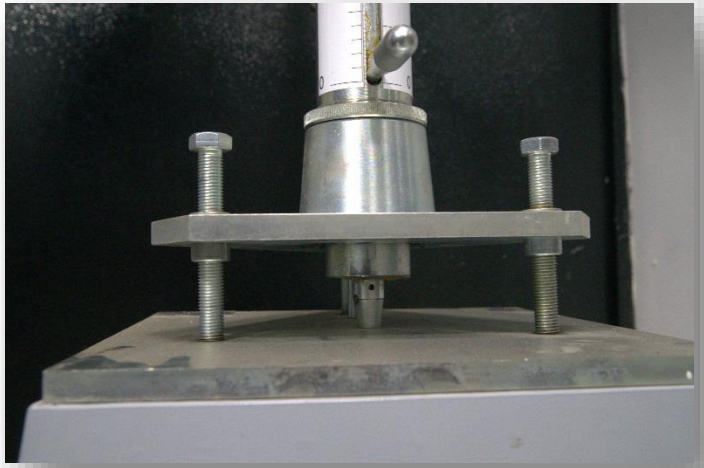
## Адгезия к стали при разных температурах







## Прочность при ударе при различных температурах









**Площадь отслаивания покрытия при поляризации или катодное отслаивание**

## Переходное сопротивление покрытия в 3%-ном растворе NaCl при температуре 293 К (20 °С)

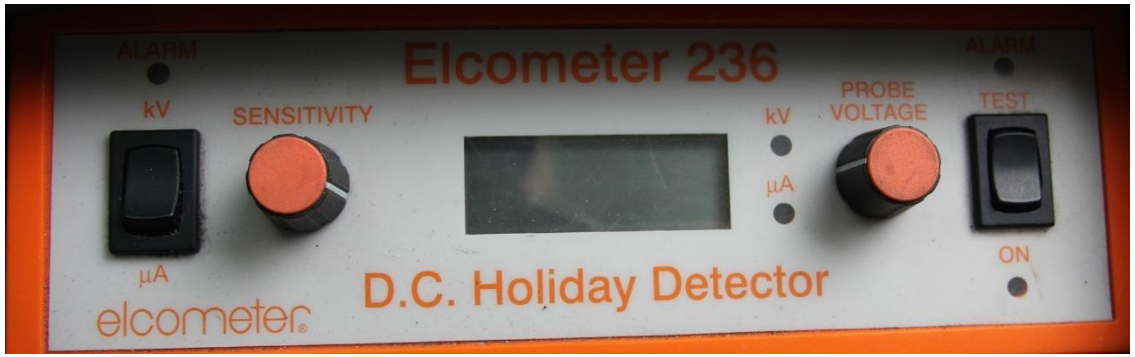




## Сопротивление пенетрации (вдавливанию)



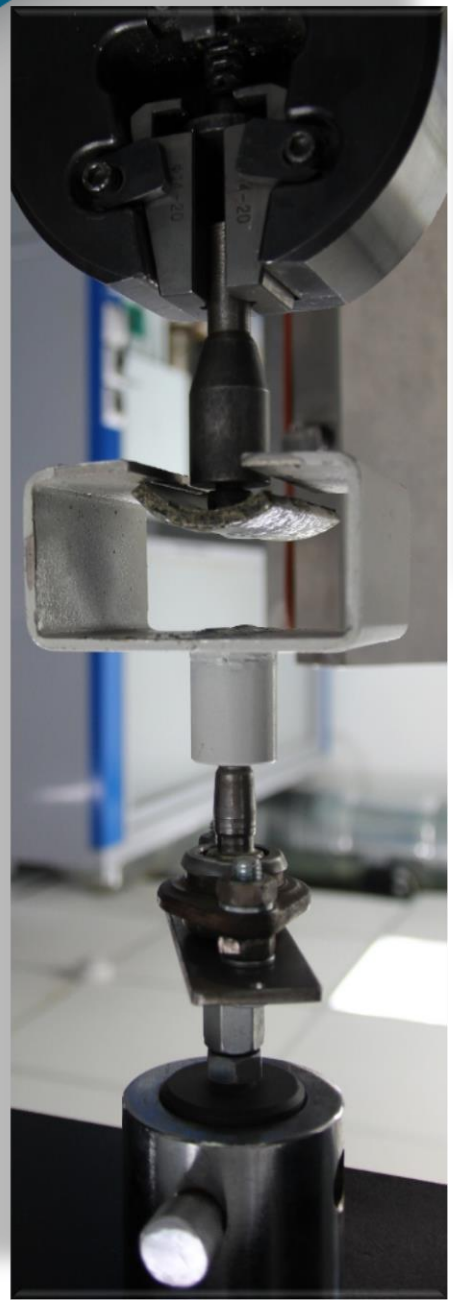
## Диэлектрическая сплошность






**Данный метод является разрушающим методом контроля, т.е. в месте пробоя происходят необратимые превращения и требуется ремонт.*

# Адгезия покрытия к стали (метод нормального отрыва)





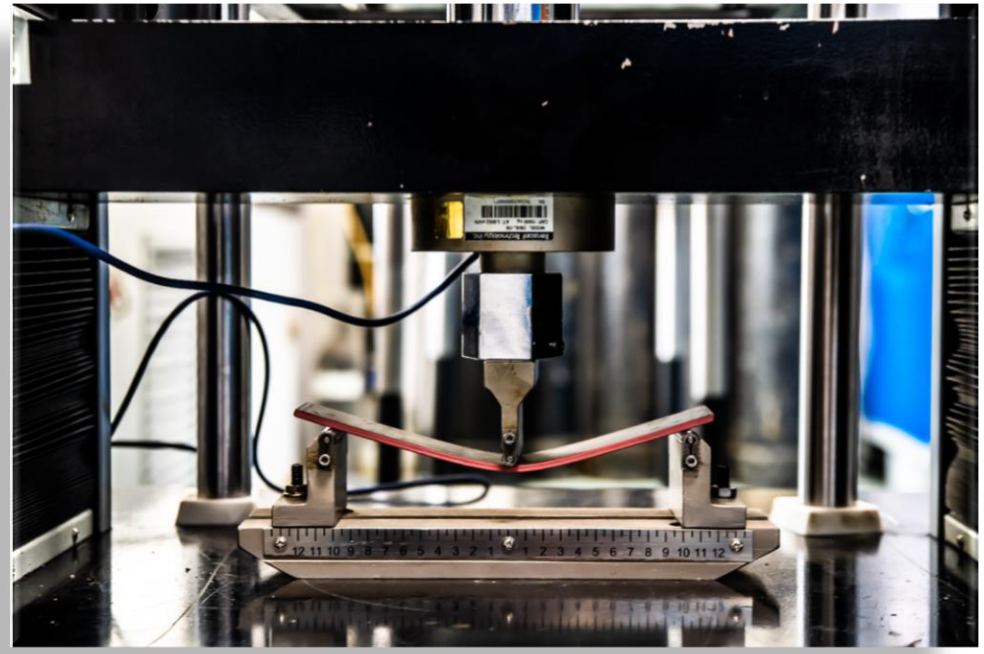


**ГОСТ не допускает проведения испытаний на механических или гидравлических адгезиметрах. Допускается только разрывная машина!**

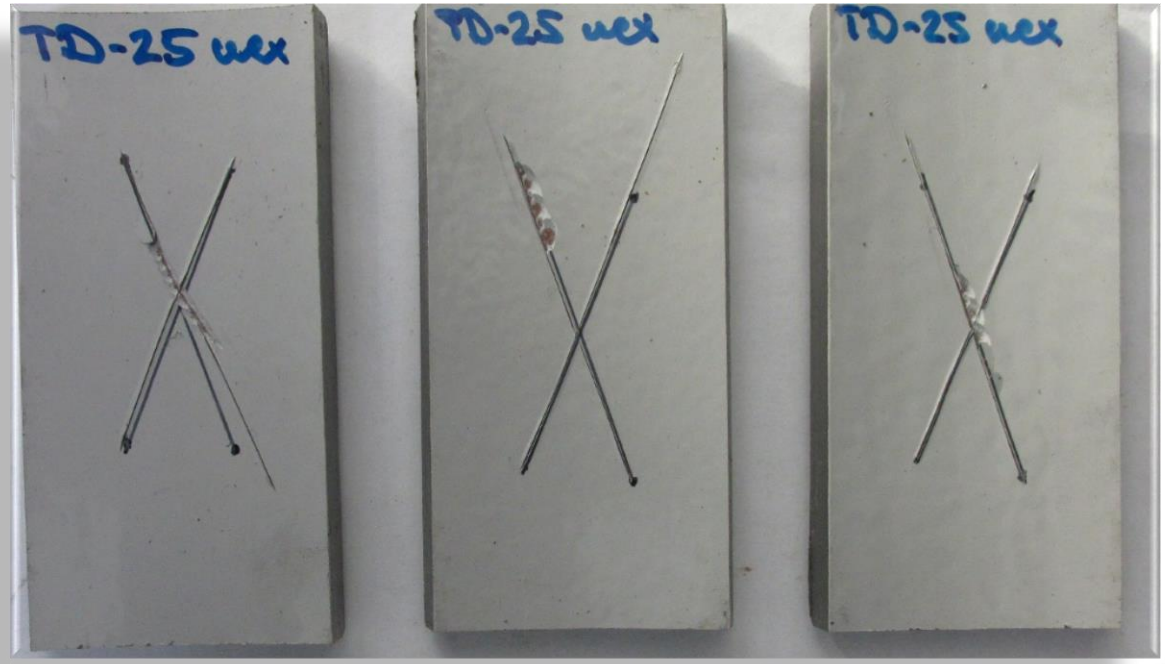
Даже при использовании клеев типа 3М DP460, DP490 на современных покрытиях преобладает характер отрыва «по клею». Для большинства экспозиций регламентировано снижение адгезии (30-50%), при этом при отрыве по клею сравнение не является корректным.

Решения данной проблемы пока нет.

## Стойкость покрытия при изгибе



## Адгезия покрытия к стали (метод Х-образного отрыва)




Прорезать покрытие толщиной более 300 мкм до металла крайне проблематично.

## Твердость по Бухгольцу покрытия на основе жидкого ЛКМ



## Потеря массы покрытия при истирании на абразиметре с абразивными кругами CS-17 при нагрузке 1000 г после 1000 циклов вращения



# Испытательные среды и условия испытаний покрытий труб и соединительных деталей для нефтепромысловых трубопроводов и насосно-компрессорных труб

- Кислота соляная, раствор с массовой долей 10 %
- Натрия гидроокись, раствор с массовой долей 10 %
- Среда воздушная От минус (60 ± 3)°С до плюс (60 ± 3)°С 15 циклов

*Более 95% применяемых антикоррозионных покрытий проходят данные испытания*

Имитатор нефтепродуктов: смесь 50 % о-ксилола и 50 % толуола

*Один из самых жестких методов испытания (при повышенной температуре является критичным и «непроходным»). Метод призван моделировать воздействия ароматических углеводородов в транспортируемом флюиде. Намного более жесткий, чем выдержка в сырой нефти.*

Вода дистиллированная

*Для покрытий намного более жесткое испытание по сравнению с выдержкой в 3% растворе NaCl или подтоварной воде.*

Пар водяной при температуре 100 ± 3 °С

*Позволяет смоделировать пропаривания трубопроводов. Даже если покрытие заявляется на 60°С или 80°С, его проверяют при температуре пара 100°С*

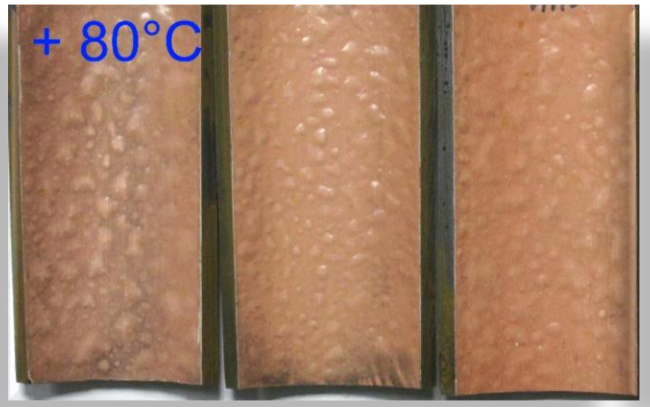
# Распространенные методики определения стойкости к взрывной декомпрессии

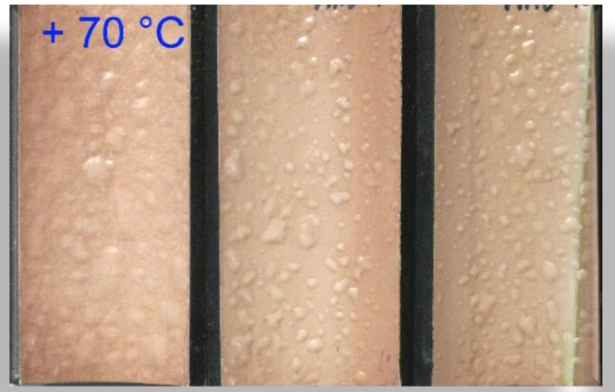
1. Методика, изложенная в ГОСТ Р 58346-2019 «Трубы и соединительные детали стальные для нефтяной промышленности. Покрытия защитные лакокрасочные внутренней поверхности. Общие технические условия»:
Выдержка в автоклаве при давлении (5,0±0,5)МПа в 5% р-ре NaCl при температуре (согласно рекомендациям производителя или требованиям Заказчика)°С в течение 24 ч, состав газовой фазы: $CO_2$ (5,0±0,5)МПа; сброс давления не более 5с.

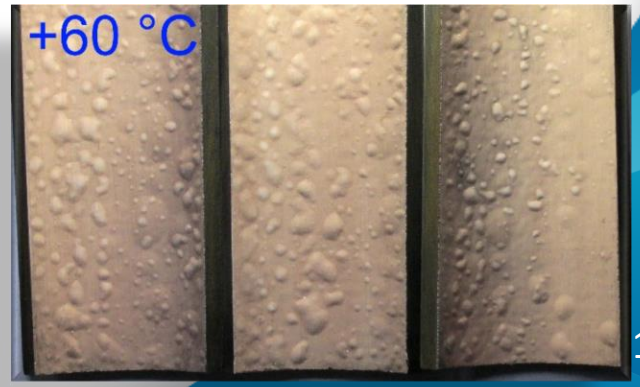
2. Методика, разработанная ВНИИСТ (изложена в ТТ «Сургутнефтегаз»). Выдержка в автоклаве при давлении (3,0±0,3)МПа в 5% р-ре NaCl при температуре (согласно рекомендациям производителя или требованиям Заказчика, ТТ Сургутнефтегаз регламентируют 90±3)°С в течение 24 ч, состав газовой фазы: 100% $CO_2$. Скорость сброса давления 2±0,3 МПа/с.

3. Методика ЕТТ (ЕДИНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ТРУБНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ПРОМЫСЛОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ, ТРУБНАЯ ПРОДУКЦИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ № П4-06 М-0111) Жидкая фаза: - 5 % раствор NaCl газовая фаза: 5,0 МПа $CO_2$ Время проведения испытания 24 ч. Сброс давления не более 5 с.





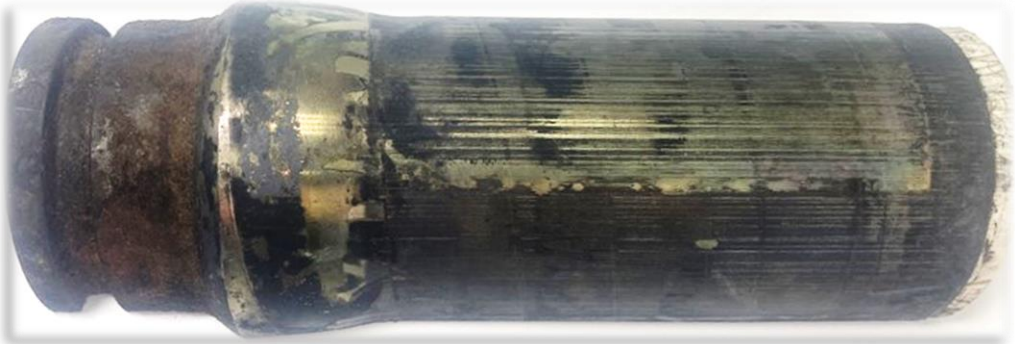



# Способы защиты фитингов ГПАТ Baker Hughes

Концевые фитинги для композитных труб Baker Hughes выпускаются из следующих материалов, чтобы соответствовать требованиям к коррозионной стойкости для различных перекачиваемых по трубе жидкостей:

- углеродистая сталь с цинковым гальванопокрытием
- углеродистая сталь с наплавленным эпоксидным покрытием
- углеродистая сталь с покрытием из полифенилен-сульфида
- нержавеющая сталь 316
- дуплексная сталь 2205



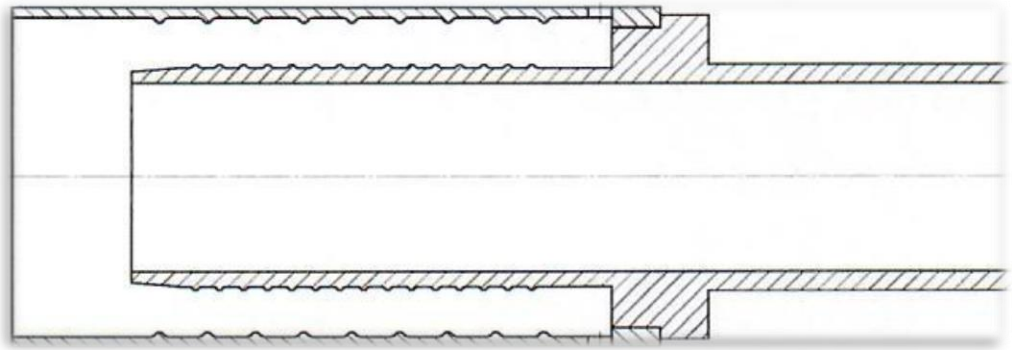






# Способы защиты фитингов ГПАТ Полимак

Сердечник вставляется внутрь трубы, а втулка проходит по внешнему диаметру. После вставки трубы в фитинг, собранная конструкция проталкивается через обжимной штамп, который сжимает втулку до уровня пластической деформации и фиксирует концевой фитинг на композитной трубе. Фиксация обеспечивается за счет проточек на внешней стороне сердечника и внутренней стороне втулки.



Компрессионный фитинг композитной трубы «ГАРАНТ» представляет собой сварную конструкцию, состоящую из сердечника и втулки.







# Способы защиты соединительных элементов стеклопластиковых труб Fiber Glass

Согласно **ТУ 2296-001-СТАР-2009 -**
Соединительные элементы труб должны быть защищены специальными колпачками или полиэтиленовыми пленками, или другим способом.





# Способы соединения труб Мепос

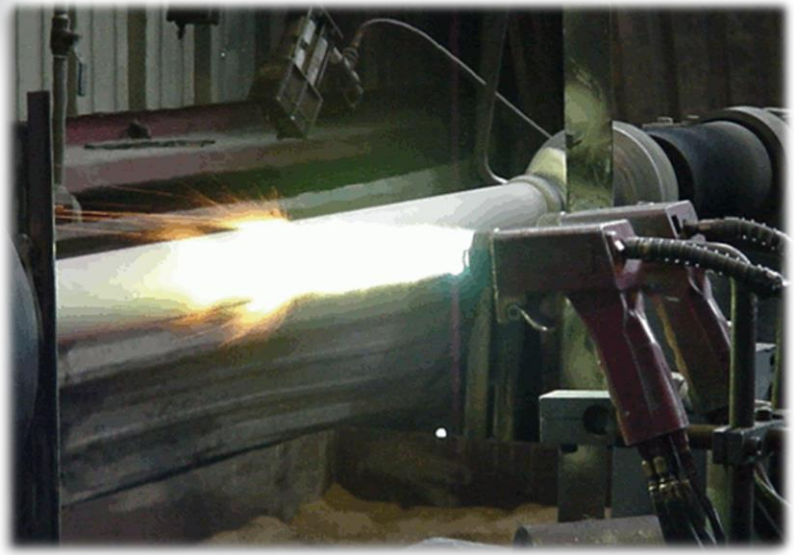


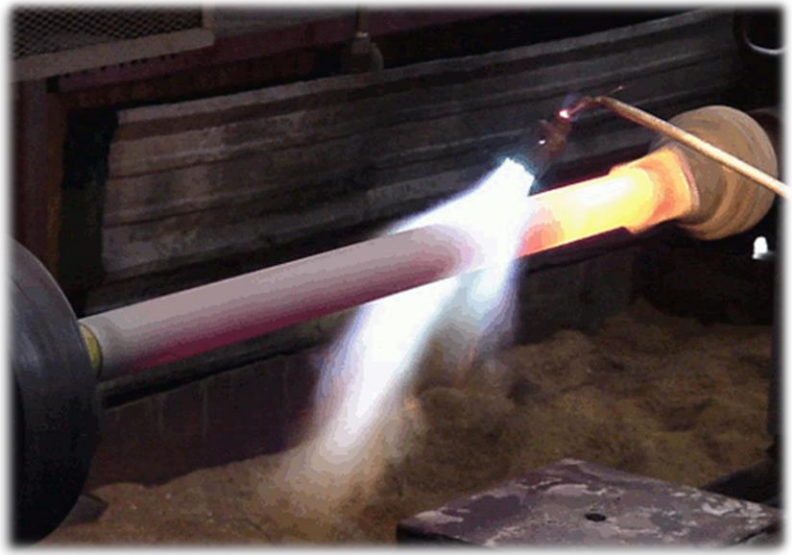


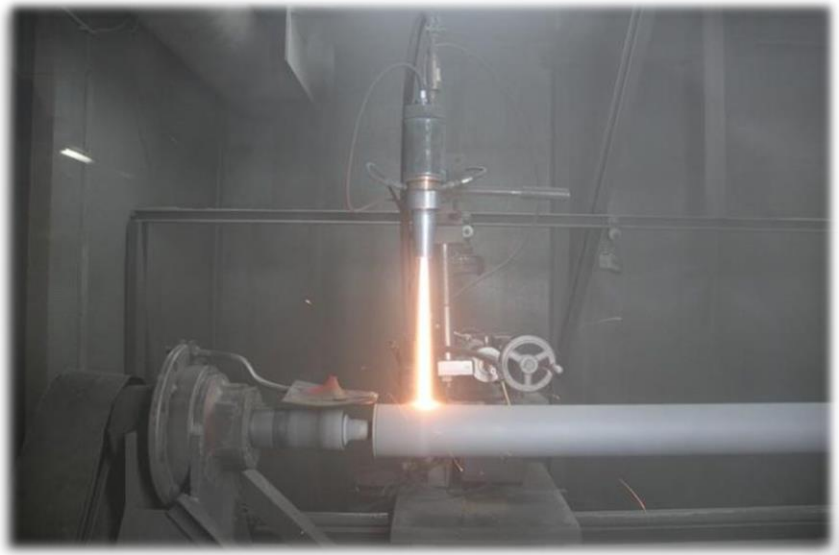



# HVOF

Высокоскоростное (сверхзвуковое) газопламенное напыление (HVOF) металлических покрытий. Скорость истечения струи 1500-2000 м/сек, скорость напыляемых частиц 380-660 м/сек. Основными преимуществами метода высокоскоростного напыления частиц является низкое содержание оксида, нанесённое покрытие имеет сжатое состояние, в результате чего образуются очень сильные связи между частицами и достигается их наивысшая плотность.







Самофлюсованием называют самопроизвольное удаление оксидов с поверхности частиц покрытия при их оплавлении. Для этого оксиды должны иметь невысокую температуру плавления, небольшую плотность и высокую жидкотекучесть. Наиболее часто для этих целей применяют сплавы на никелевой основе системы NiCrBSi. Оксиды B2O3-Cr2O3-SiO2 образуют легкоплавкий шлак, всплывающий при оплавлении на поверхность в виде тонкого стекловидного налета. Выдержка при температуре оплавления 1050-1080 °C составляет 1-2 мин.

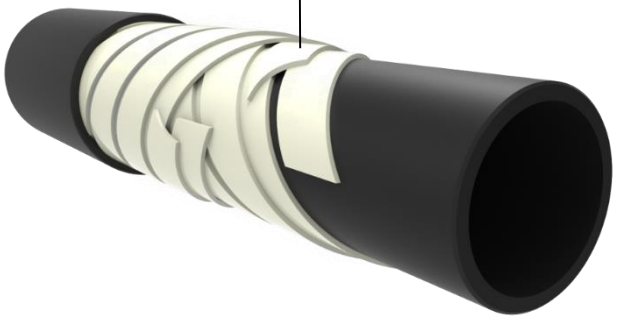
# Выбор материалов металлических компонентов ГПАТ в зависимости от условий эксплуатации.

Борисенкова Екатерина Александровна

# Виды металлических изделий, применяемых на ПАТ

Фитинги предназначены как для соединения отрезков труб между собой, так и для присоединения гибкой полимерно-армированной трубы к стальному трубопроводу и прочему оборудованию.









**Фланцевый фитинг**
Болтовое соединение
Уплотнительные элементы



**Симметричный фитинг**
Соединений отрезков труб



**Фитинг под приварку**
Приваривается к элементам стандартного трубопровода и стандартной трубопроводной арматуре



# Термины и определения

- ***Коррозия металлов*** – это разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. Химические соединения, образующиеся в результате взаимодействия металла и коррозионной среды - продукты коррозии.
- ***Скорость коррозии*** – это потери единицы поверхности металла в единицу времени. Так как нефтяная отрасль в основном имеет дело с таким понятием как «толщина стенки», то в случае коррозионных процессов имеет смыл представлять скорость коррозии как глубину поражения в единицу времени с единицами измерения мм/год.
- **Показатели скорости коррозии**
- 1. Глубинный показатель коррозии
- 2. Показатель изменения толщины образующейся на металле пленки продуктов коррозии
- 3. Показатель изменения массы
- 4. Объемный показатель коррозии
- 5. Механический показатель коррозии
- 6. Показатель изменения электрического сопротивления
- Существует две группы факторов, влияющих на коррозионный процесс. Это **внешние** и **внутренние** факторы.
- *Внешние факторы* связаны с составом коррозионной среды и условиями, в которых протекает процесс (температура, давление, скорость движения металла относительно среды и т.д.)
- *Внутренние факторы* связаны с природой металла – это состав, структура, внутренние напряжения, состояние поверхности.

# Влияние внешних факторов

- *Температура*
- Мощный внешний фактор. Характер влияния температуры на скорость окисления металла определяется зависимостью константы скорости реакции окисления и коэффициента диффузии от температуры. Т.о., вне зависимости от вида контролирующей стадии процесса окисления, с ростом Т скорость окисления резко возрастает. Колебания температуры, особенно переменный нагрев и охлаждение, увеличивают скорость окисления металла, т.к. в защитной пленке образуются трещины.
- *Состав газовой фазы*
- Влияние состава газовой фазы на скорость коррозии металла велико, специфично и изменяется с температурой. В частности, на скорость окисления железа и стали, особенно сильно влияют кислород, соединения серы, водяные пары. Повышение содержания $CO_2$ в газовой фазе понижет скорость коррозии углеродистых и низколегированных сталей, но при больших количествах $CO_2$ в газовой фазе может произойти науглероживание поверхности стали.
- *Давление окислителя*
- Если бы поверхность металла не была бы покрыта оксидной пленкой, то скорость окисления была бы пропорциональна парциальному давлению окислителя. Но так как поверхность металла покрыта слоем оксида, то зависимость скорости окисления от величины парциального давления окисляющей газа может быть различной в зависимости от строения защитной пленки. Например, при окислении железа при 700-950 $^{o}$C скорость окисления не зависит от $P_{O_2}$.
- *Скорость движения газовой фазы*
- Окисление, как гетерогенный процесс, определяется скоростью подвода и отвода реагентов в зону реакции. Поэтому, чем больше скорость движения потока газа, тем больше и скорость окисления Ме.
- *Режим нагрева металла*
- Влияние режима нагрева металла может быть рассмотрено в контексте влияния колебаний температуры. То есть переменные нагрев и охлаждение увеличивают скорость окисления ввиду нарушения сохранности защитной пленки.

# Влияние внутренних факторов на скорость процесса коррозии

- *Состав сплава*
- Применительно к наиболее важным конструкционным сплавам – сплавам на основе железа, можно отметить следующее для случая газовой коррозии.
- При высоких температурах (более 800°С) с увеличением содержания углерода в стали скорость ее окисления и обезуглероживания уменьшается вследствие более активного образования $CO_2$, что снижает окислительный потенциал газовой фазы.
- *Структура сплава*
- Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что чем меньше в сплаве структурных составляющих, тем выше его жаростойкость. Применительно к сплавам железо – углерод, наиболее устойчивой является аустенитная структура. Стали с двухфазной аустенитно – ферритной структурой менее устойчивы против окисления. Их меньшая жаростойкость связывается с большей неоднородностью образующейся защитной пленки, что приводит к ее разрушению при росте (неоднородность возникающих внутренних напряжений).
- *Состояние поверхности металла и наличие в нем напряжений*
- Установлено, что предварительная холодная пластичная деформация несколько ускоряет окисление металла вследствие повышения запаса его энергии. Чем тщательнее обработана поверхность металла, тем меньше скорость его окисления, что обусловлено лучшей сохранностью защитных пленок на гладкой поверхности.

# Причины образования коррозионных гальванических элементов

- К причинам возникновения коррозионных гальванических элементов на поверхности корродирующего металла отнесены следующие:
- а) неоднородность металлической фазы;
- б) наличие границ зерен в металле;
- в) неоднородность защитных пленок на поверхности металла;
- г) неоднородность внутренних напряжений;
- д) неоднородность электролита;
- е) неоднородность физических условий в системе металл – электролит.
- Таким образом, гетерогенность поверхности металла приводит к разделению ее на анодные - с более отрицательными значениями электродного потенциала и катодные - с более положительными значениями электродного потенциала участки.

# Классификация коррозионных процессов

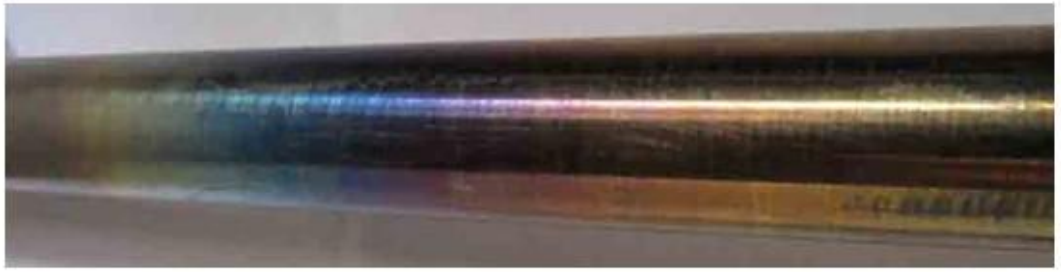
- Все многообразие коррозионных процессов принято классифицировать **по механизму условий протекания** и **характеру получаемого разрушения**.
- По механизму протекания различают **химическую** и **электрохимическую** коррозию.
- *Химическая коррозия* – это окислительно-восстановительный процесс взаимодействия металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента среды протекают единовременно и в одном акте. Продукты взаимодействия пространственно не разделены.
- *Электрохимическая коррозия* – это самопроизвольный окислительно-восстановительный процесс взаимодействия металла с коррозионной средой, при котором ионизация металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала. Обязательное условие протекания электрохимической коррозии – наличие электропроводящей среды (растворов кислот, щелочей или солей).

# Классификация коррозионных процессов

- По **условиям протекания процессов**, которые весьма разнообразны, различают следующие виды коррозии (основные виды):
- - Газовая коррозия - химическая коррозия металла в газах при высоких температурах;
- - Атмосферная коррозия - коррозия металла в атмосфере воздуха. Коррозия, протекающая в условиях любого влажного газа, относится к атмосферной коррозии;
- - Жидкостная коррозия - коррозию металлов в жидкостях (электролитах и не электролитах);
- - Подземная коррозия - коррозию в почвах и грунтах;
- - Биокоррозия - коррозия под влиянием микроорганизмов;
- - Коррозия блуждающим и внешним током;
- - Фреттинг-коррозия - коррозия при колебательном перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды.

## Газовая коррозия

Газовая коррозия происходит, как правило, в результате воздействия агрессивных газов высокой температуры. Процесс сопровождается химическими реакциями и встречается в двигателях внутреннего сгорания, газогенераторах, компрессорах и т. д. Следует также иметь в виду, что газовая коррозия происходит и при технологических процессах обработки металлов, таких, как ковка и штамповка, термообработка, сварка и т. д.







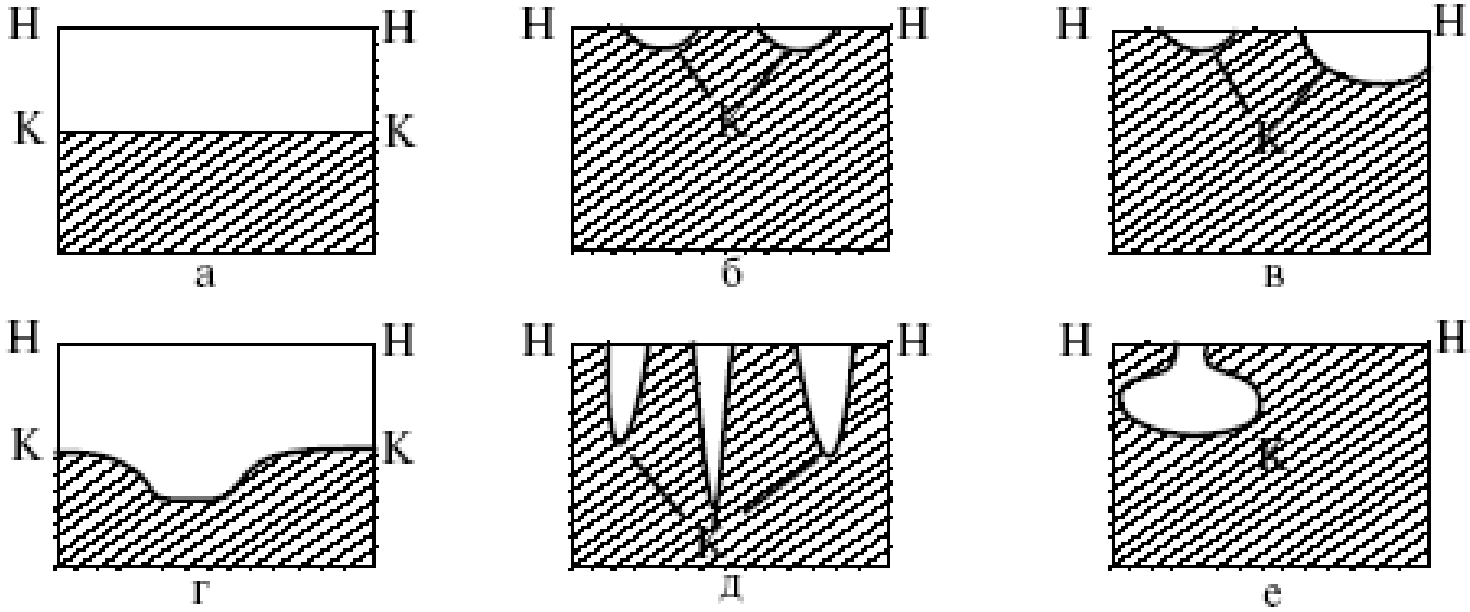





# Классификация коррозионных процессов

- По **характеру коррозионного разрушения** различают:
- **Общая коррозия (сплошная)** бывает:
- - равномерной (протекает с одинаковой скоростью на всей поверхности металла), например, коррозия углеродистой стали в $H_2SO_4$;
- - неравномернойпротекающей с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности металла (например, коррозия углеродистой стали в морской воде);
- - избирательной (разрушается лишь одна структурная составляющая сплава, например, ферритная структурная составляющая чугуна).
- **Локальная (местная) коррозия** (коррозия отдельных участков металлических поверхностей) бывает:
- - подповерхностная начинается с поверхности, преимущественно распространяется под поверхностью металла таким образом, что разрушение и продукты коррозии оказываются сосредоточенными в некоторых областях внутри металла. Обычно начало коррозионного разрушения не обнаруживается макроскопическим исследованием поверхности, но всегда обнаруживается при микроскопическом исследовании. Подповерхностная коррозия часто вызывает вспучивание металла и его расслоение.
- - точечная коррозия (питтинг) - местная коррозия металла в виде отдельных точечных поражений
- - коррозия пятнами - местная коррозия металла в виде отдельных пятен (коррозия латуни в морской воде);
- - язвенная коррозия – местная коррозия сопутствующая образованию язв - коррозионного разрушения, имеющего вид отдельной раковины;
- - межкристаллитная - коррозия, распространяющаяся по границам кристаллитов (зерен) металла, например коррозия нержавеющей стали в кислых средах;
- - послойная коррозия – это коррозия, распространяющаяся преимущественно в направлении пластической деформации металла;
- - ножевая коррозия - локализованный вид коррозии металла в зоне сплавления сварных соединений в сильно агрессивных средах;
- - сквозная - местная коррозия, вызвавшая разрушение металла насквозь;
- - нитевидная - коррозия, распространяющаяся в виде нитей, преимущественно под неметаллическими защитными покрытиями;
- - структурная - коррозия, связанная со структурной неоднородностью металла;
- - щелевая коррозия - усиление коррозии в щелях и зазорах между двумя металлами, а также в местах неплотного контакта металла с неметаллическим коррозионноинертным материалом;
- - коррозионное растрескивание - коррозия металла при одновременном воздействии коррозионной среды и внешних или внутренних механических напряжений растяжения с образованием транскристаллитных или межкристаллитных трещин;
- - коррозия под напряжением - коррозия металла при одновременном воздействии коррозионной среды и постоянных или переменных механических напряжений;
- - коррозионная усталость - понижение предела усталости металла, возникающее при одновременном воздействии циклических растягивающих.

# Схематическое изображение различных видов коррозии




*а – равномерная коррозия; б – коррозия пятнами; в, г – коррозия язвами; д – точечная коррозия (питтинг); е – подповерхностная коррозия;*
*НН – исходная поверхность металла; КК – рельеф поверхности, измененный вследствие коррозии.*

# Щелевая коррозия

**Щелевая коррозия**

Щелевая коррозия происходит в щелях и зазорах металлических конструкций, а также в зонах контакта металла с неметаллами. Непосредственной причиной щелевой коррозии является появление анодно-катодной пары из-за неравномерной концентрации агрессивного компонента вне и внутри щели. Возникающий при этом электрохимический процесс приводит к интенсивному разрушению участка поверхности, являющегося анодом.

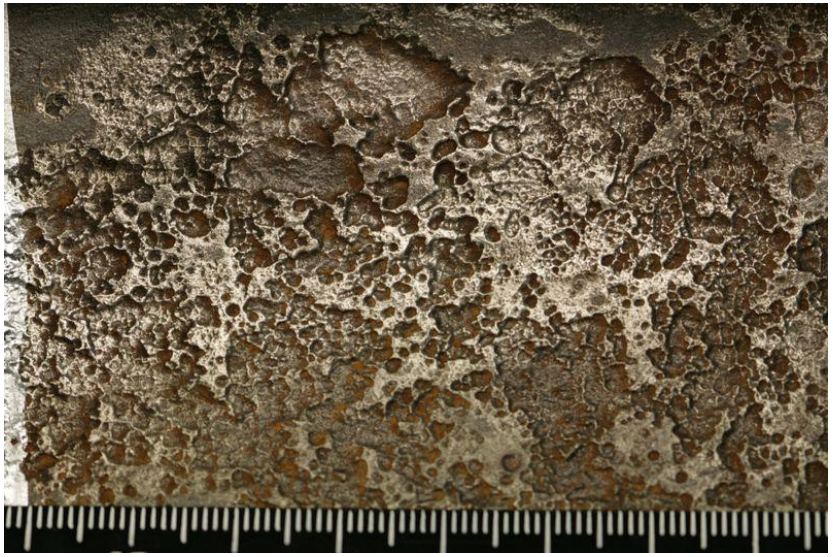




# Язвенная коррозия









# Межкристаллитная коррозия

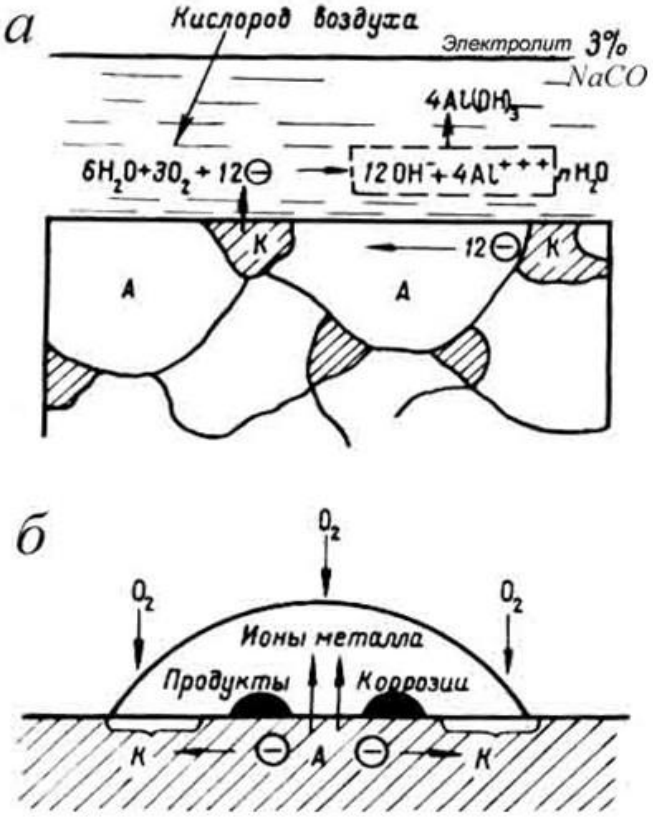



Рис. Схема электрохимической коррозии:
а – двухфазного сплава; б – чистого металла под каплей влаги

**У некоторых сплавов металлов, например сталей, иногда электрохимические процессы протекают по границам кристаллов, обладающих разными электрохимическими потенциалами. При этом имеются отдельные зерна, обладающие либо анодными, либо катодными свойствами. Процесс разрушения металла при этом называется**

**межкристаллитной коррозией**

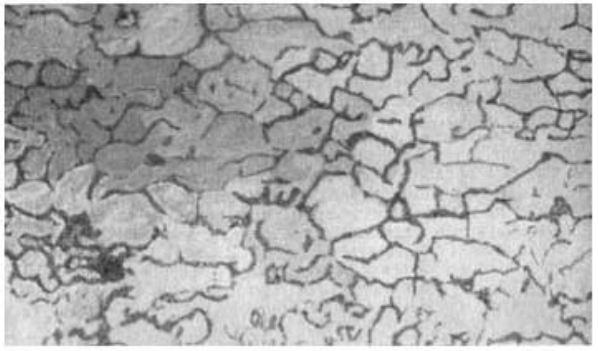
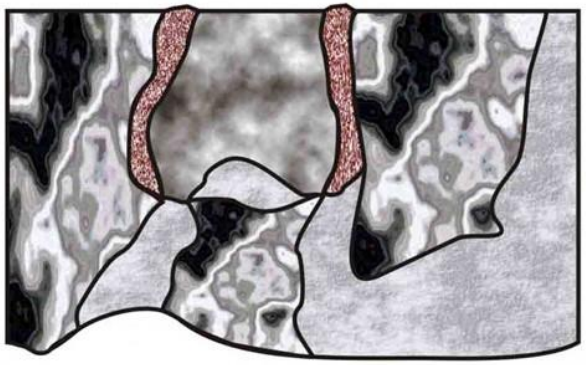


Рис. Межкристаллитная (интеркристаллитная) коррозия

# Межкристаллитная коррозия

## Межкристаллитная коррозия

Межкристаллитная коррозия развивается по границам зерен сплава и приводит к нарушению связи между кристаллами.
Межкристаллитная коррозия вызывает значительное ухудшение механических свойств изделия и является весьма коварной, так как внешне почти ничем не проявляется.



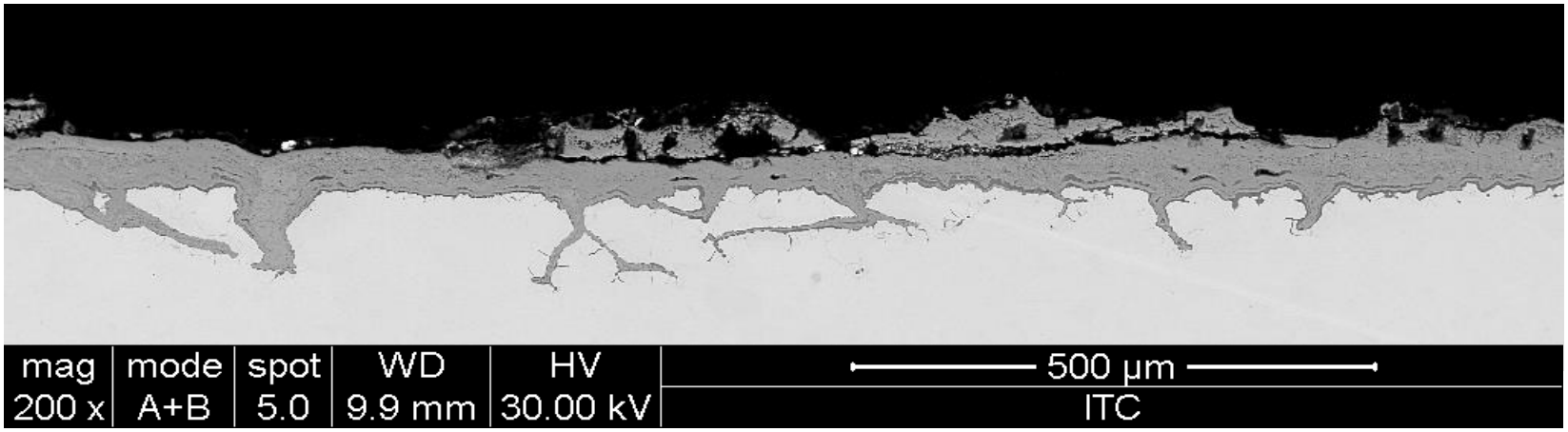
Межкристаллитная коррозия

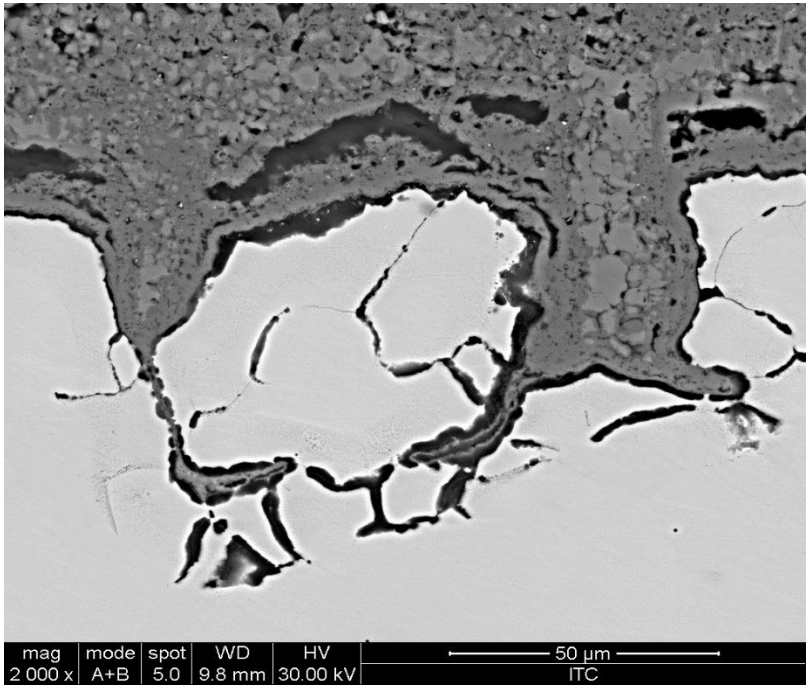


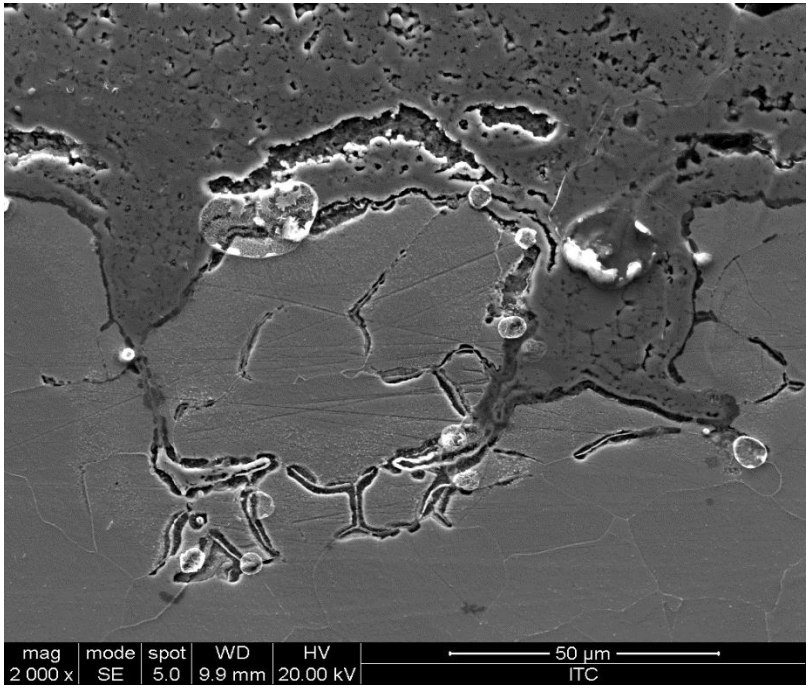



Межкристаллитная коррозия

# Межкристаллитная коррозия



## Коррозия под напряжением

Коррозия под напряжением – это процесс разрушения поверхностей материалов при одновременном воздействии коррозионной среды, а также механических напряжений.

При постоянных растягивающих напряжениях, не превышающих предел текучести, и одновременно воздействии коррозионной среды на поверхности материала могут интенсивно развиваться трещины (***коррозионное растрескивание***), резко снижающее несущую способность конструкции.



Рис. **Пример коррозии под напряжением – коррозионное растрескивание**

При одновременном воздействии коррозионной среды и циклической нагрузке снижается предел выносливости конструкции (***коррозионная усталость***). Это явление особенно характерно для таких деталей, как рессоры, пружины, канаты, штоки гидроцилиндров и т. д. В определенной степени коррозионно-механическое изнашивание также может интерпретироваться как коррозия под напряжением. Особенностью этого разрушения является локальный характер происходящего явления.

# Коррозионное растрескивание

## Коррозионное растрескивание

Коррозионное растрескивание является следствием совместного действия на металл агрессивной среды и механических растягивающих напряжений. Оно развивается при длительной работе изделия в тяжелых условиях коррозии под напряжением.

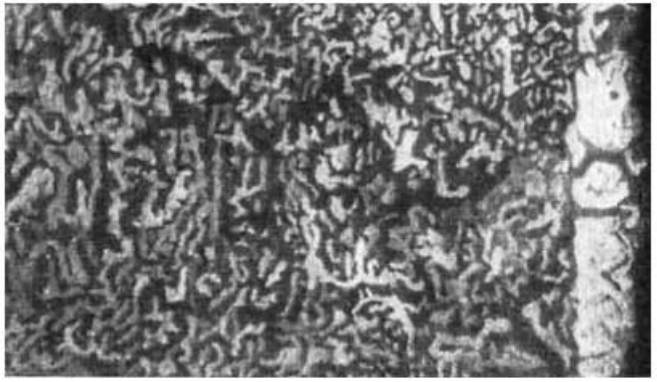


Рис. **Коррозионное растрескивание**

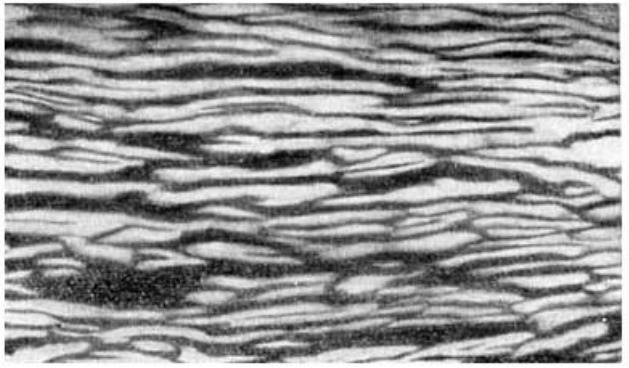


Рис. **Расслаивающая коррозия**

# Ранжирование нефтяных сред по механизму коррозионного разрушения

**1. Сульфидное ($H_2S$) коррозионное растрескивание под напряжением (СКРН)**

**2. Локальная карбонатная коррозия ($CO_2$)**

**3. Локальная карбонатная коррозия в присутствие сульфидов ($CO_2$+$H_2S$)**

**4. Карбонатная коррозия в присутствие хлоридов**

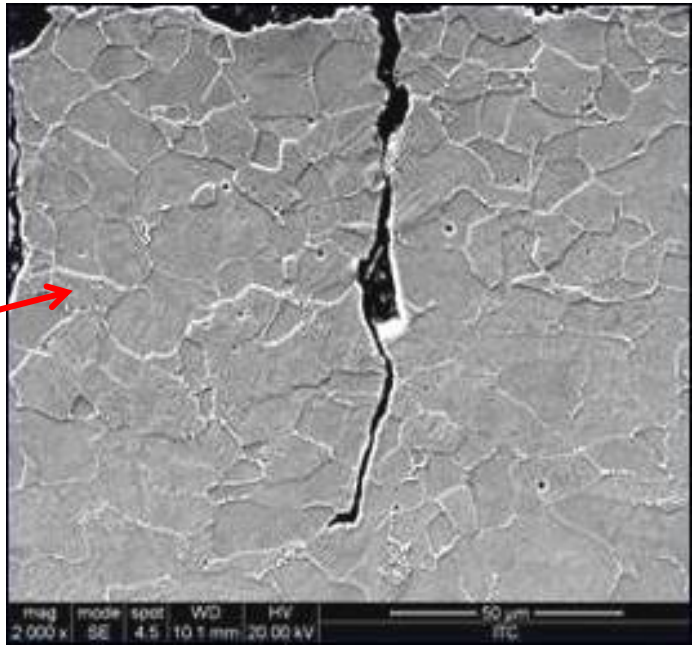
**5. Микробиологическая коррозия**

# Классификация нефтяных месторождений по превалирующему механизму коррозии

**Сульфидное ($H_2S$) коррозионное растрескивание под напряжением (СКРН)**



снимок наружной поверхности

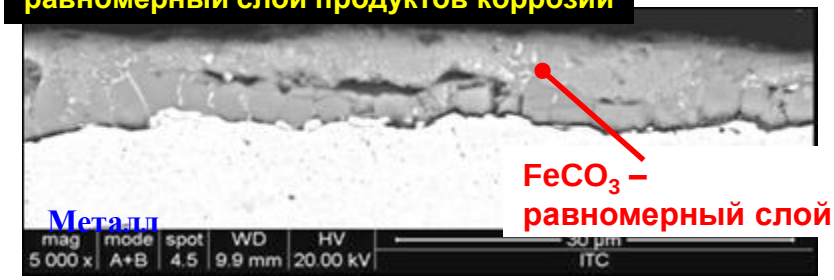



электронный микрофотография поперечного металлографического шлифа в сечении трещины

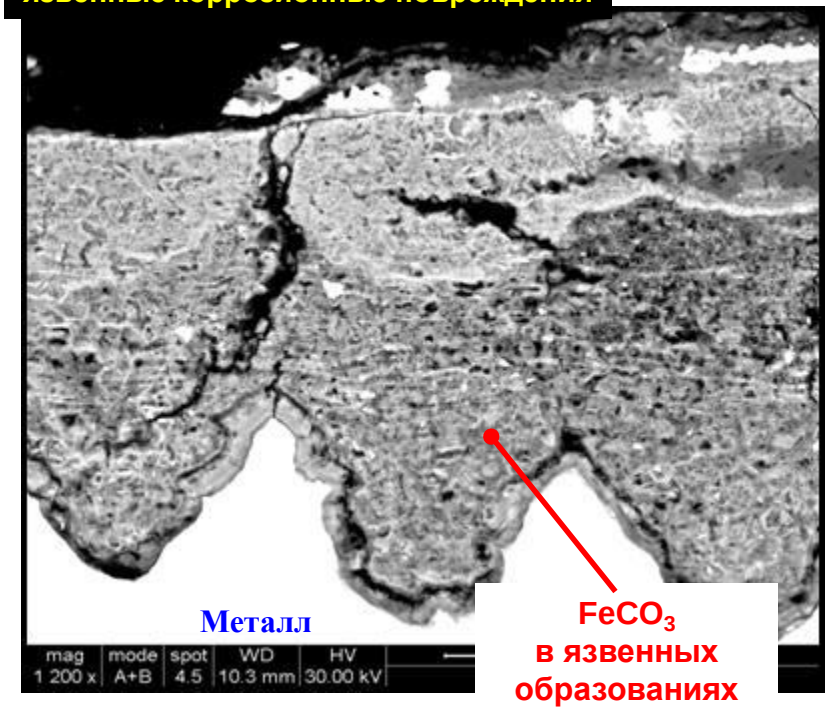
# Классификация нефтяных месторождений по превалирующему механизму коррозии

## Локальная карбонатная коррозия ($CO_2$)

**равномерный слой продуктов коррозии**

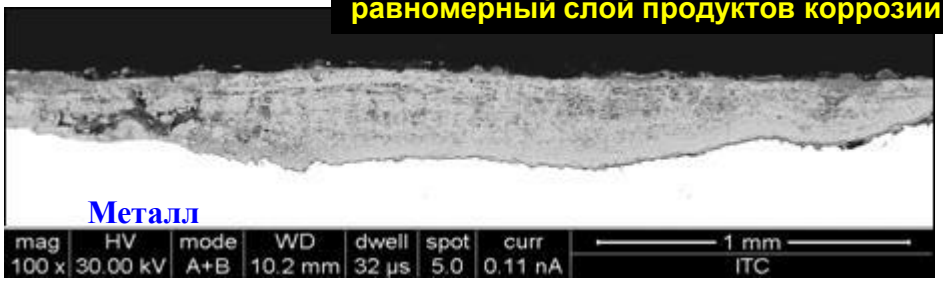



**язвенные коррозионные повреждения**

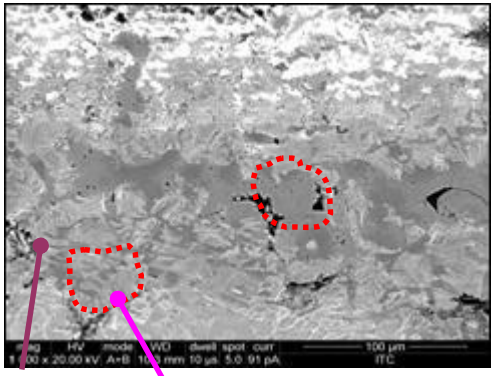



## Локальная карбонатная коррозия ($CO_2$) + Ca

**равномерный слой продуктов коррозии**

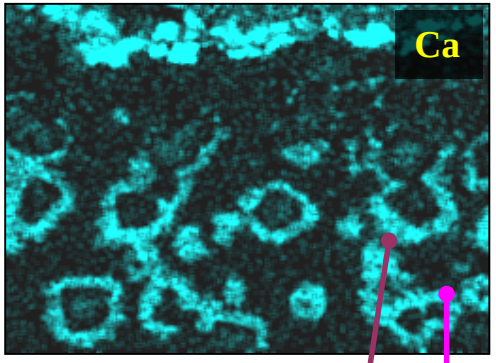



**продукты коррозии, содержащие карбонаты кальция (CaCO3);**




Замещение $FeCO_3$ в продуктах коррозии на $CaCO_3$

**анализ в характеристическом рентгеновском излучении кальция**

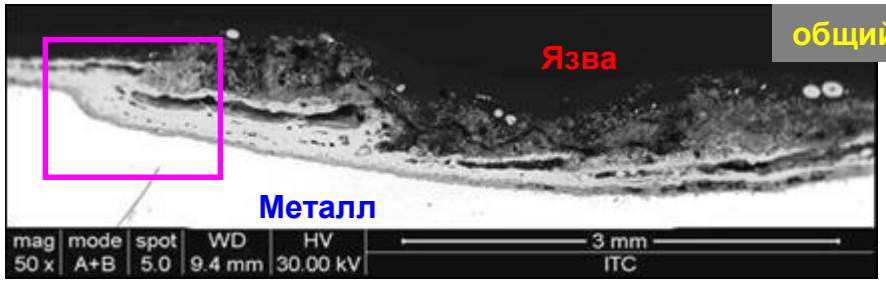


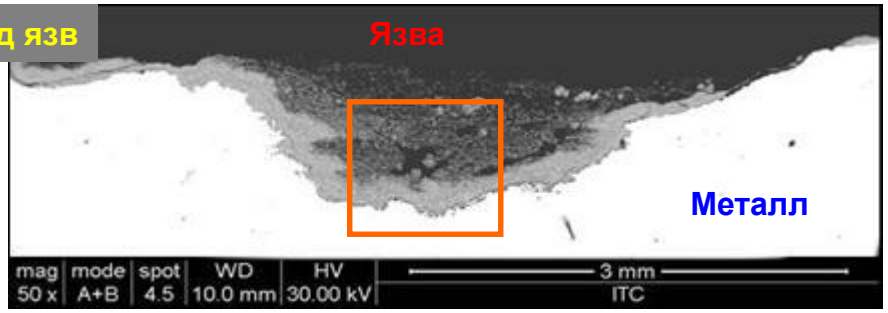
# Классификация нефтяных месторождений по превалирующему механизму коррозии

**Локальная карбонатная коррозия в присутствие сульфидов ($CO_2$+$H_2S$)**

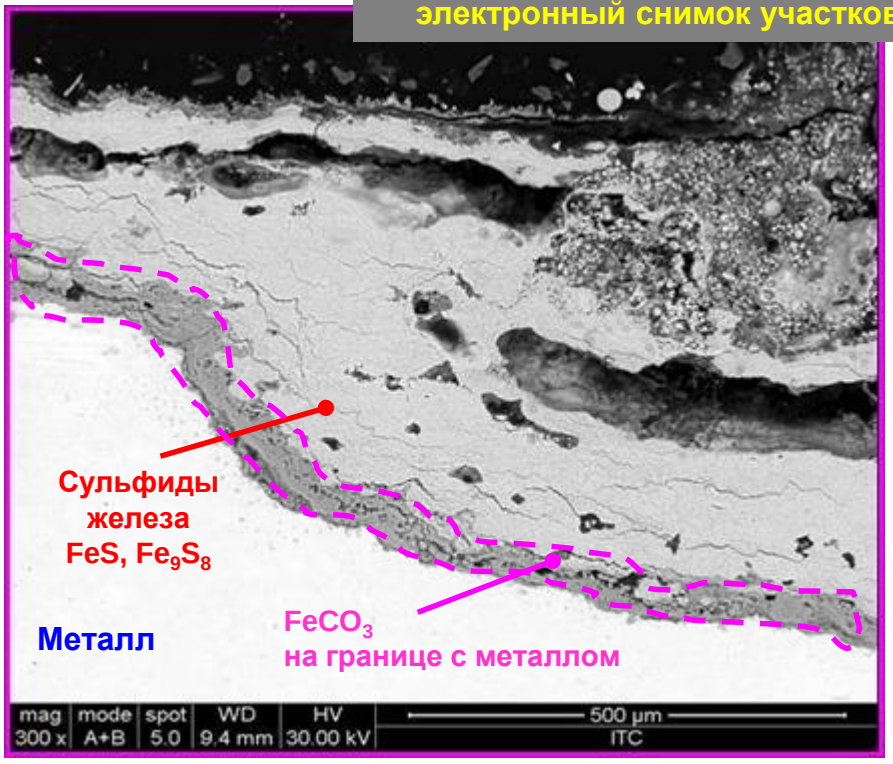
**Карбонатная коррозия в присутствие хлоридов**

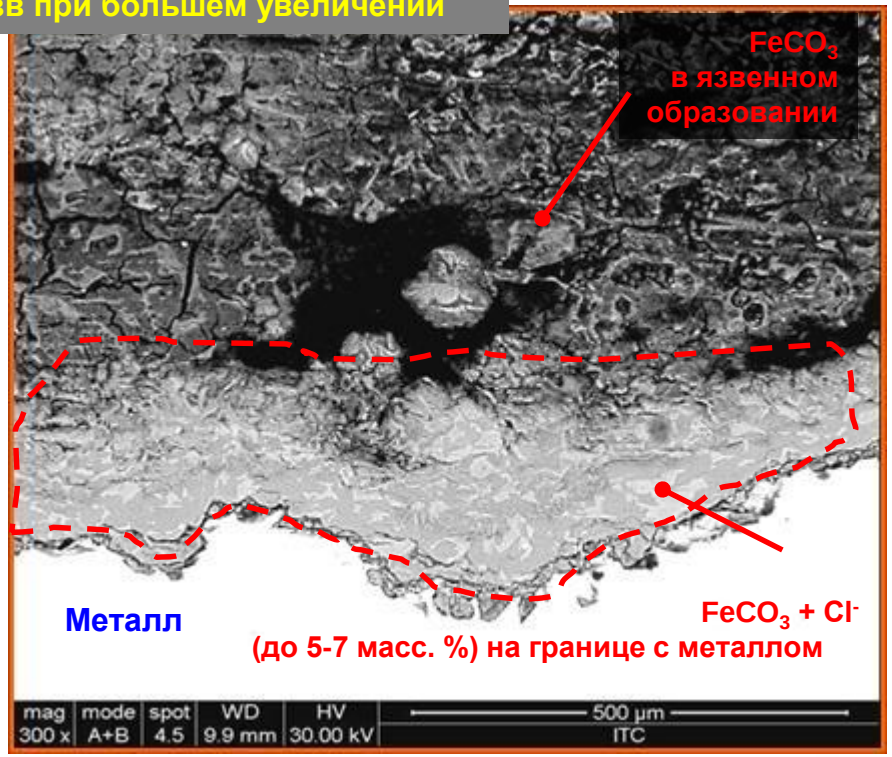
**общий вид язв**



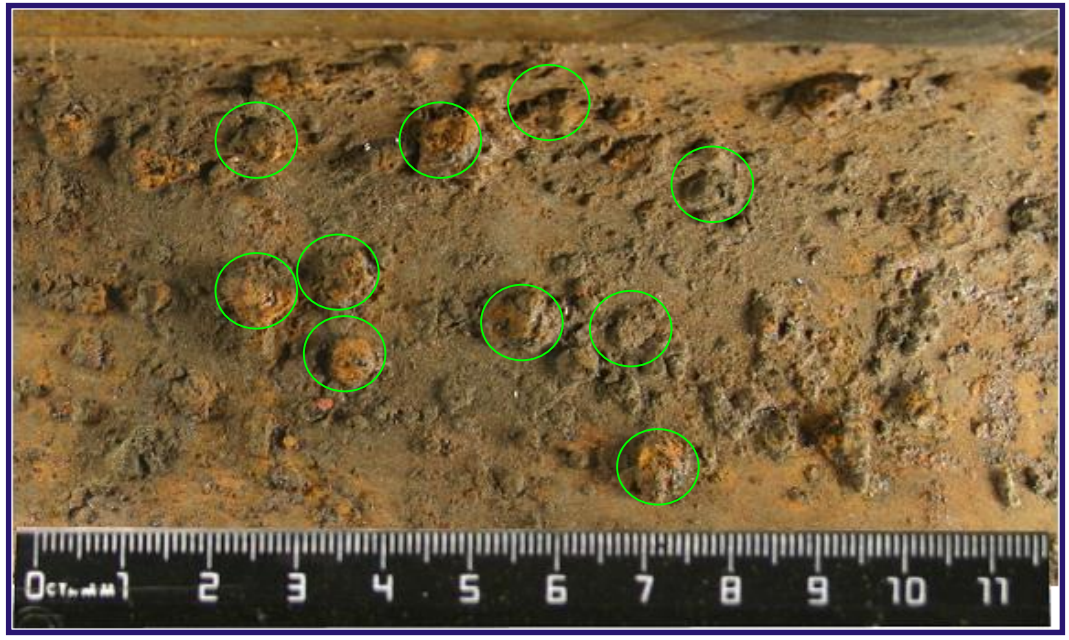

**электронный снимок участков язв при большем увеличении**



# Микробиологическая коррозия

**Бактериальные вздутия на внутренней поверхности НГПТ из стали 17Г1С , эксплуатировавшейся на месторождении Западной Сибири**




**Бактериальные вздутия на образце из стали 17Г1С после лабораторного эксперимента по микробиологическому биоценозу. Инкубирование 150 дней при t=55°С**



# Микробиологическая коррозия

**Экспертизные исследования труб, эксплуатировавшихся в реальных промысловых средах с высоким фоном бактериальной зараженности**



**Фазовый состав продуктов коррозии:**
**$FeCO_3$, $Fe_2O_3$, $Fe_3O_4$**

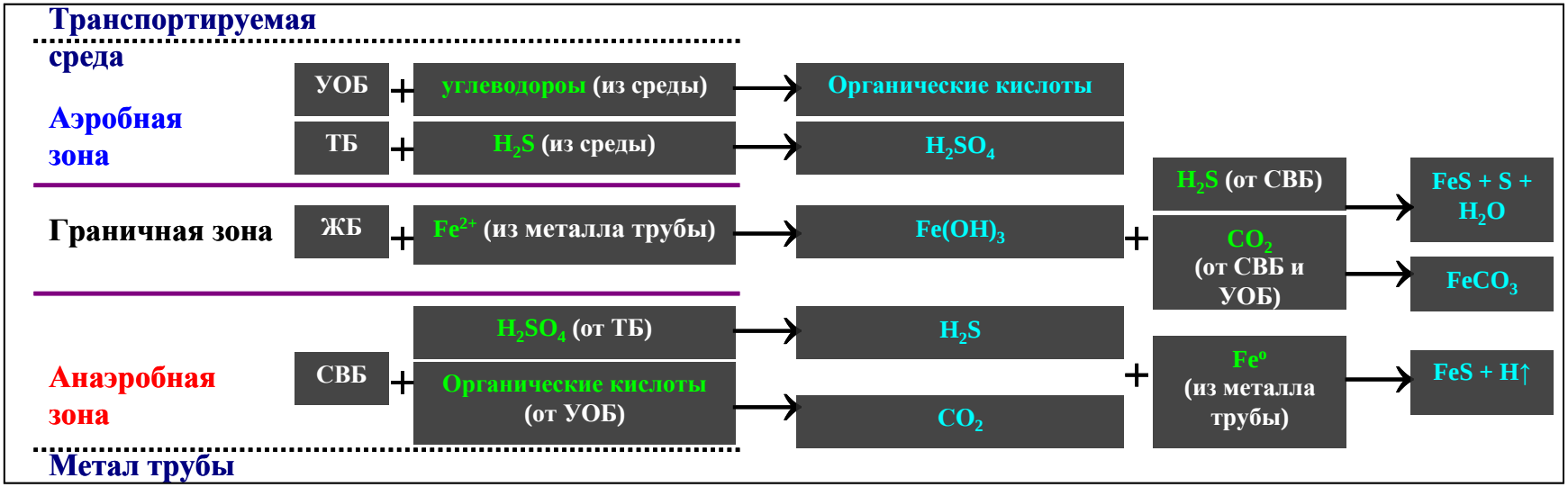


**Вид внутренней поверхности**

**Сечение поперечного Металлографического шлифа через язву**

# Симбиотические связи в нефтяном биоценозе

Анализ и сопоставление результатов экспертизных исследований и лабораторных испытаний сталей на стойкость к нефтяному биоценозу, состоящему из четырех групп коррозионно-опасных микроорганизмов (СВБ, ТБ, УОБ, ЖБ) можно предположить следующую схему взаимодействия




**Химические реакции при взаимодействии в нефтяном микробиоценозе***

| Область | Бактерии | используемый субстрат | образующиеся вещества | Реакция |
|---|---|---|---|---|
| окислительнаязона | УОБ ТБ | Углеводороды (нефти), $S^0$, $S^{2-}$, $S^{2+}$, $S^{4+}$ 1)$CO_2$ 2) органические кислоты | органические кислоты и $CO_2$ $S^{6+}$ | $FeS_2 + 3{,}5O_2 + H_2O \rightarrow FeSO_4 + H_2SO_4$ (thermothrixthiohara, thiobacillus sp. и химически), $S^0 + H_2O + 1{,}5O_2 \rightarrow H_2SO_4$ (thermothrix thiohara, thiobacillus sp.) [10]. |
| граница окислительной и восстановительной зон | ЖБ | Fe(II) 1) $CO_2$ 2) низкие конц. органических веществ | Fe(III) $CO_2$ | $4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 4CO_2 + Q$ $FeS + H_2O + CO_2 = FeCO_3 + H_2S$ $2FeSO_4 + 0{,}5O_2 + H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$ (leptospirillum ferrooxidans) |
| восстановительная зона | СВБ | $S^{2+}$ $S^{6+}$ органические кислоты | $S^{2-}$ $CO_2$ | $2Fe(OH)_3 + 3H_2S \rightarrow 2FeS + S + 6H_2O$, $FeS + S = FeS_2$ $FeS + H_2O + CO_2 = FeCO_3 + H_2S$ $Fe + H_2S \xrightarrow{H_2O} FeS + H^+ \uparrow$ |

*реакции приведены по данным Розановой Е.П. «Микрофлора нефтяных месторождений»

# Методики коррозионных испытаний

1). Сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением (СКРН).
- Стандарт NACE TM0177 (метод А);
- Стандарт NACE TM0177 (метод С);
- Стандарт NACE TM0177 (метод Д).

2). Общая коррозия
- Методика ЛКИ № 002-2009. Оценка скорости общей коррозии в модельной сероводородной среде.
- Методика ЛКИ № 004-2011. Оценка скорости общей коррозии в модельной CO2-содержащей среде

3). Водородное растрескивание
- Стандарт NACE TM0284

4). Микробиологическая коррозия
- Стандарт NACE TM0194
- Методика № 003-07 ООО «ИТ-Сервис»
- Методика № 003-10 ООО «ИТ-Сервис»
- Методика № 004-10 ООО «ИТ-Сервис»

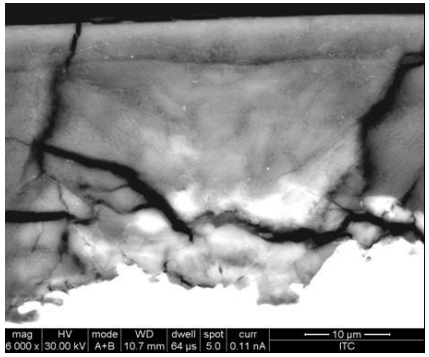
# Методики коррозионных испытаний

## Углекислотная коррозия





Образец после испытаний



Исследование продуктов коррозии

- Применена технология периодической смены коррозионной среды для интенсификации коррозионных процессов.
- Предложена методика оценки скорости коррозии образцов путем измерения толщины слоя продуктов коррозии на металлографических шлифах.

## Бактериальная коррозия



Образцы в испытательной среде, зараженной бактериями



Выдержка образцов в исп. среде в термостате

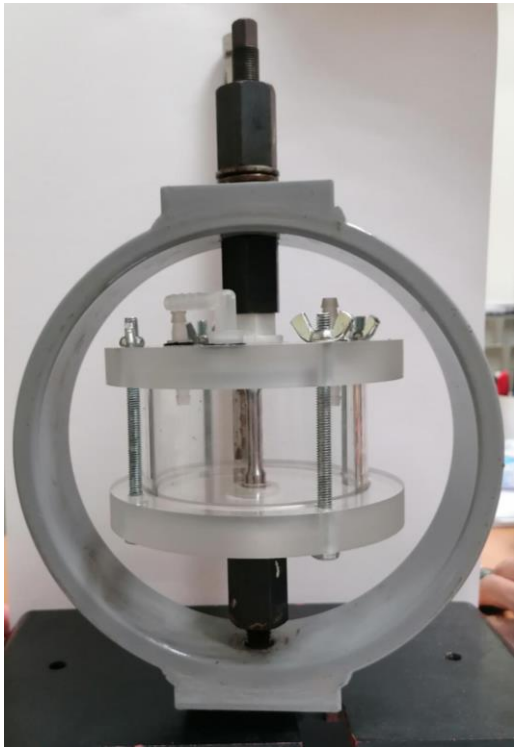


Образец после испытаний и очистки от отложений



Проведение биохимических анализов

# Испытания на стойкость к СКРН







Установка «Cortest» и образцы после испытаний по стандарту NACE TM0177, метод А




Образец ДКБ, нагруженный клином



Образец ДКБ после испытания

# Создание алгоритма расчета армированных металлополимерных труб на прочность с использованием эквивалентной двухслойной модели

Докладчик: Синюгин Александр Александрович, к.т.н.,
Главный инженер проекта, ООО «ИТ-Сервис»

# Аннотация

Аварии на промысловых трубопроводах являются острой проблемой нефтедобывающей отрасли. Значительная часть таких аварий вызвана коррозией металла трубопроводов, причем современные мероприятия, нацеленные на защиту трубопроводов от коррозии, не являются эффективными в полном объеме и не обеспечивают полную защиту трубопроводов от коррозии.

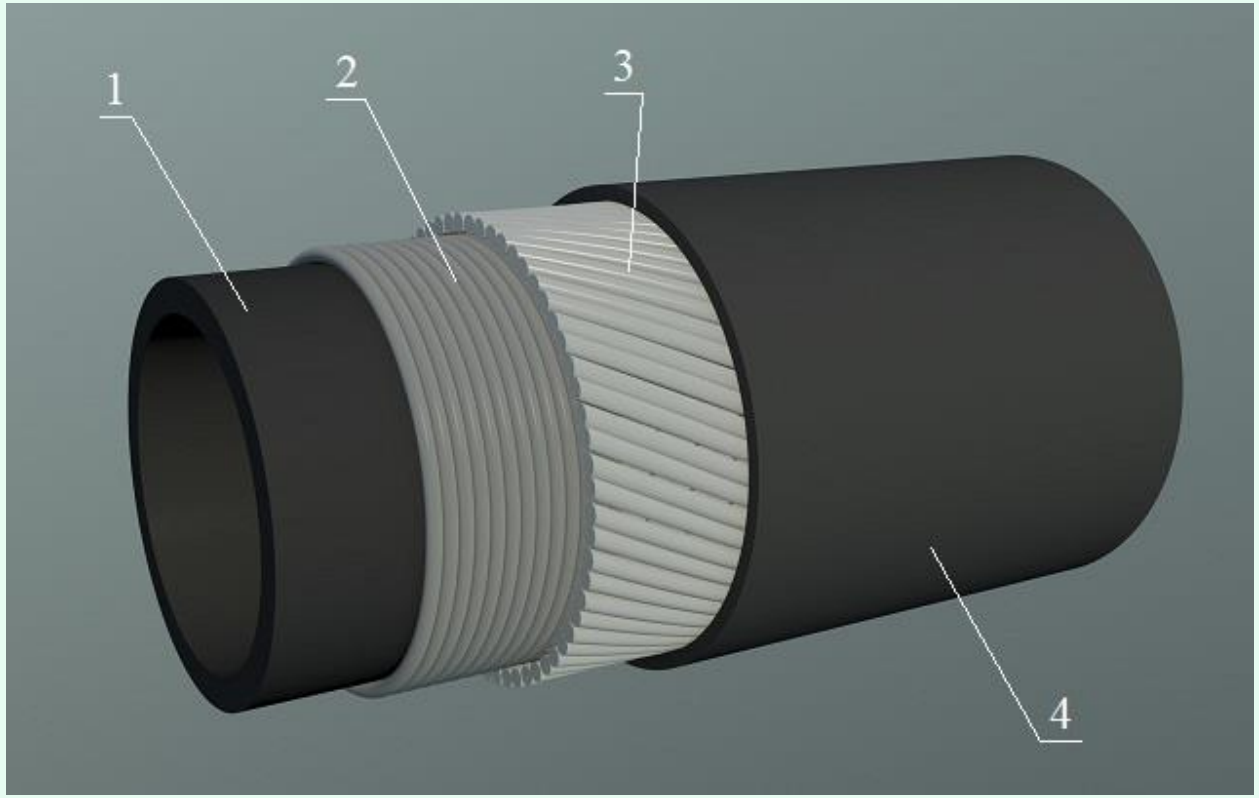
Применение армированных металлополимерных трубопроводов (АМПТ) в качестве основного элемента систем сбора нефти на промысле позволяет исключить риск возникновения коррозионных дефектов. Однако, к оценке прочности АМПТ неприменимы формулы, применяемые для расчета стальных трубопроводов (тонкостенных цилиндров).

Представленные в научной и технической литературы методики расчета на прочность АМПТ являются формулами, где главными критериями прочности гибкой трубы являются шаг спирали стального каркаса, его толщина и механические характеристики. При этом используемая формула расчета осевых напряжений была выведена для бурильных гибких труб, конструктивно отличающихся от ряда АМПТ, и ее применение ко всем разновидностям АМПТ некорректно.

Следовательно, создание новых методик расчета АМПТ является актуальной научно-технической задачей.

# Обзор видов АМПТ, используемых в нефтяной промышленности

Армированная металлополимерная труба в нефтяной промышленности является сложным по конструкции изделием, содержащим от 2 до 10 и более слоев. Конструкция трубы и применяемые материалы влияют на эксплуатационные параметры трубопровода, тип разъемных соединений и конструкцию входных фланцев, а также состав вспомогательного оборудования.

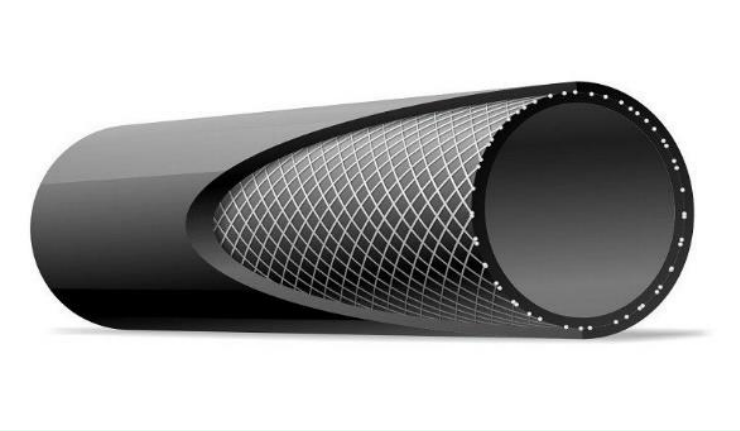



1 – внутренняя герметизирующая камера, 2 – повивы на восприятие радиальных нагрузок,
3 – грузонесущие элементы, 4 – внешняя герметизирующая камера

# Некоторые модели АМПТ, используемые в нефтяной промышленности



Промысловые АМПТ производства ООО «Псковгеокабель» (сверху) и ООО «Технология композитов (внизу)





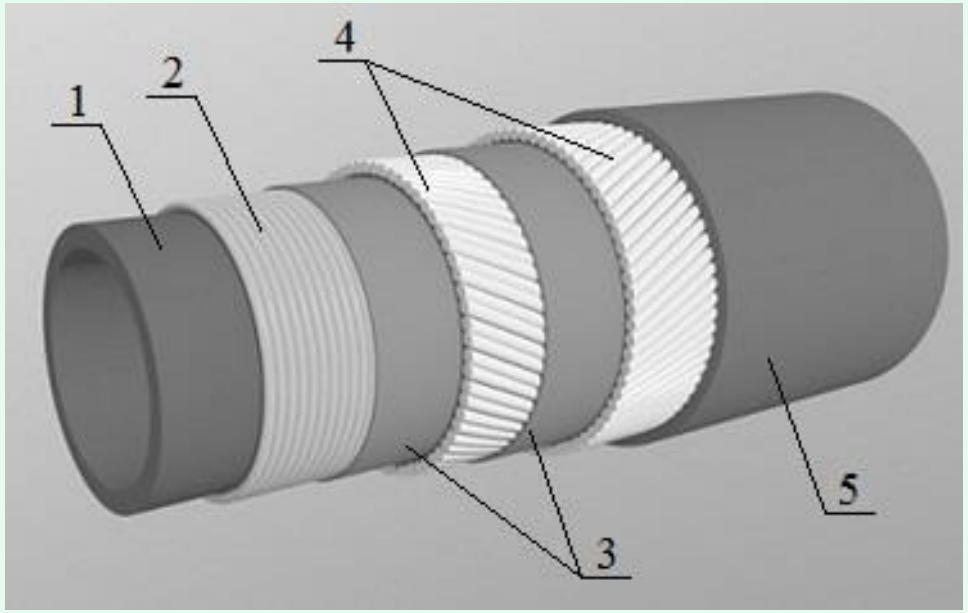
АМПТ буровой рукав



АМПТ систем дозировочных систем (сверху) и морской райзер (внизу)



# Краткая характеристика объекта исследования



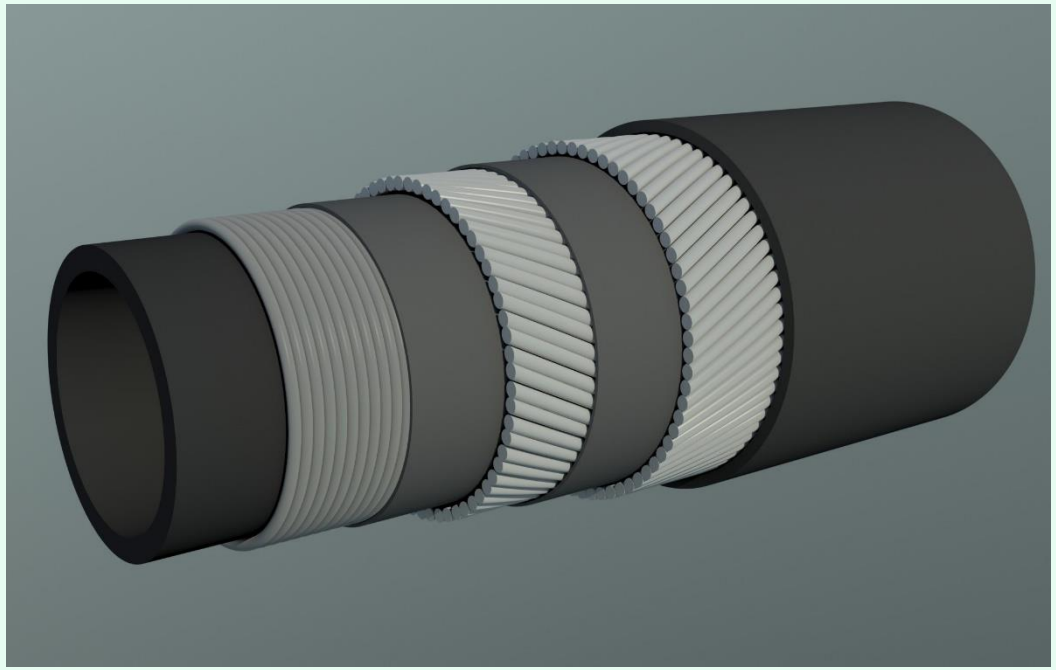

1 – внутренняя полиэтиленовая камера, 2 – проволочный стальной каркас, 3 – герметизирующие слои из ПВХ, 4 – грузонесущие повивы из ПП шпагата, 5 – внешняя полиэтиленовая камера

# Существующие расчетные методики ГПМТ

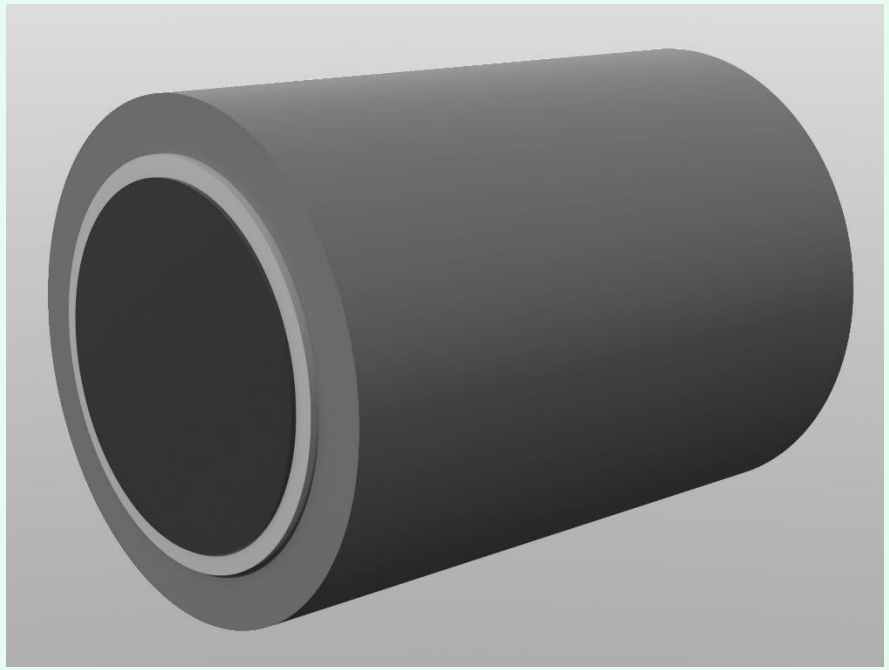
Внутр. крит. давление (рад. составляющая): $P_{\text{вн.кр}} = \frac{2К}{t_{\text{ш}} \times d_{tk}} = \frac{0{,}5\pi \times d^2 \times \sigma}{t \times d_{tk}}$ $E_{\text{оболочек}} \ll E_{\text{груз}}$

Внутр. крит. давление (осевая составляющая): $P_{\text{вн.кр}} = \frac{4T_{\text{разр}}}{\pi(d_{\text{внеш}} - t_{\text{ГПМТ}})^2}$ $E_{\text{оболочек}} \sim E_{\text{груз}}$

# Описание двухслойной эквивалентной модели



Общий вид АМПТ



Общий вид двухслойной эквивалентной модели

$$\sigma_{\text{кц}} = \frac{P \times d}{2t} \qquad \sigma_{\text{пр}} = \frac{P \times d}{4t}$$

# Описание геометрических характеристик, а также механических свойств двухслойной эквивалентной модели

| Наименование слоя | Номинальный диаметр, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| Внутренний диаметр | 51,4 | 73,6 | 90 |
| Внутренняя камера из ПНД | 5,8 | 8,2 | 10 |
| Стальной спиральный проволочный каркас | | 3 | |
| Слой из ленты ПВХ (первый) | | 0,8 | |
| Первый (правый) слой грузонесущих повивов из ПП | | 4 | |
| Слой из ленты ПВХ (второй) | | 0,8 | |
| Второй (левый) слой грузонесущих повивов из ПП | | 4 | |
| Внешний слой из ПВД | | 3 | |

Толщины слоев ГПМТ

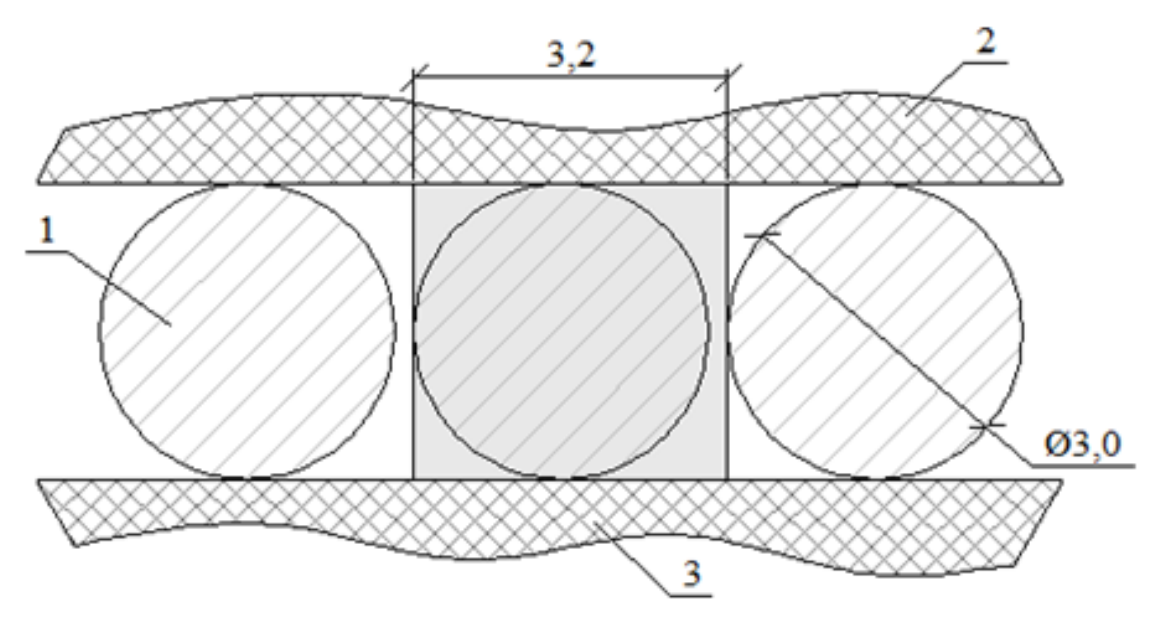
| Наименование слоя | Номинальный диаметр, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| Внутренний диаметр | 63 | 90 | 110 |
| Внутренний слой | | 3 | |
| Внешний слой | | 8 | |

Толщины слоев эквивалентных моделей

$$\begin{cases} \sigma_{\text{в рад}} = a \times \sigma_{\text{в каркас}} \\ \sigma_{\text{т рад}} = a \times \sigma_{\text{т каркас}} \\ E_{\text{рад}} = a \times E_{\text{каркас}} \\ \sigma_{\text{в ос}} = 0 \\ \sigma_{\text{т ос}} = 0 \\ E_{\text{ос}} = 0 \\ 0 < a < 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma'_{\text{в рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{т рад}} = 0 \\ E'_{\text{рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{в ос}} = b \times \sigma_{\text{в груз}} \\ \sigma'_{\text{т ос}} = b \times \sigma_{\text{т груз}} \\ E'_{\text{ос}} = b \times E_{\text{груз}} \\ 0 < b < 1 \end{cases}$$

# Метод заполненного периметра




$$a_1 = \frac{S_{\text{пров}}}{S_{\text{кластера}}} = 0{,}74$$

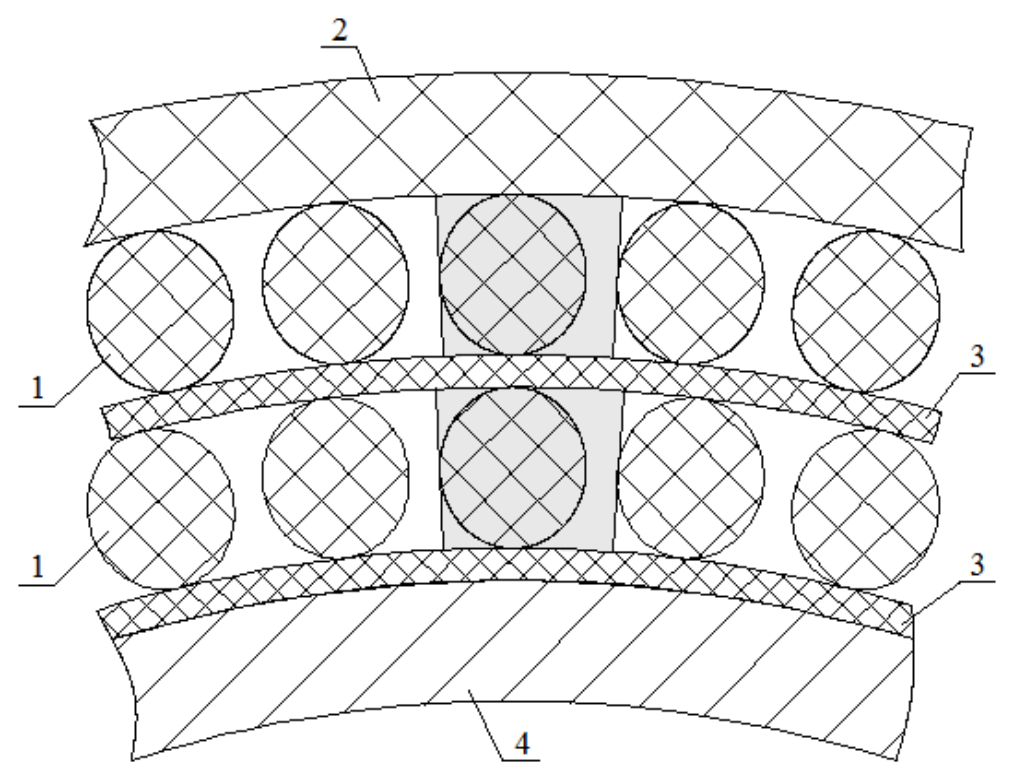
$$\sigma_{\text{в рад}} = a_1 \times \sigma_{\text{в каркас}} = 0{,}74\sigma_{\text{в каркас}}$$

$$\sigma_{\text{т рад}} = a_1 \times \sigma_{\text{т каркас}} = 0{,}74\sigma_{\text{т каркас}}$$

$$a_2 = 0{,}9 - 1{,}25D_{\text{вн}}\ (0{,}73 \ldots 0{,}8)$$

$$\begin{cases} \sigma_{\text{в рад}} = 0{,}74\ \sigma_{\text{в каркас}} \\ \sigma_{\text{т рад}} = 0{,}74\ \sigma_{\text{т каркас}} \\ E_{\text{рад}} = 0{,}74\ E_{\text{каркас}} \\ \sigma_{\text{в ос}} = 0 \\ \sigma_{\text{т ос}} = 0 \\ E_{\text{ос}} = 0 \end{cases}$$

# Применение метода заполненного периметра к поперечному сечению ГПМТ




$$b = \frac{S_{\text{проекции шпагата}}}{S_{\text{кластера}}} = 0{,}65$$

$$\sigma'_{\text{в ос}} = b \times \sigma_{\text{в ПП}} = 0{,}65\sigma_{\text{в ПП}}$$

$$\sigma'_{\text{т ос}} = b \times \sigma_{\text{т ПП}} = 0{,}65\sigma_{\text{т ПП}}$$

$$E_{\text{оболочек}} \ll E_{\text{груз}}$$

$$E_{\text{оболочек}} \sim E_{\text{груз}}$$

$$E_{\text{оболочек}} \sim E_{\text{груз}}$$

$$\sigma_{\text{в оболочек}} \sim \sigma_{\text{в груз}}$$

# Влияние внутренней камеры на осевую прочность ГПМТ

| DN | Грузонесущие ПП повивы | | Камера ПНД | | Сумма, кН |
|---|---|---|---|---|---|
| | Усилие разрыва, кН | Доля от общего, % | Усилие разрыва, кН | Доля от общего, % | |
| **50** | 94,74 | 79,8 | 24,03 | 20,2 | 118,77 |
| **75** | 127,31 | 72,4 | 48,61 | 27,6 | 175,92 |
| **100** | 151,44 | 67,7 | 72,43 | 32,3 | 223,87 |

| DN | $S_{внеш\ экв}$, мм$^2$ | $\sigma'_{в\ ос}$, МПа |
|---|---|---|
| **50** | 1936 | 61,35 |
| **75** | 2614 | 67,30 |
| **100** | 3109 | 72,01 |

$$\sigma'_{в\ ос} = \frac{b \times \sigma_{в\ ПП} \times S_{груз} + \sigma_{в\ ПНД} \times S_{кам}}{S_{вн\ экв\ слой}}$$

$$\sigma'_{в\ ос} = \frac{\sigma_1 \times S_1 + \sigma_2 \times S_2 + \ldots + \sigma_n \times S_n}{S_{экв}}$$

$$\sigma'_{в\ ос} \sim \sigma'_{т\ ос} \qquad E'_{ос} = E_{ПП}$$

$$\begin{cases} \sigma'_{в\ рад} = 0 \\ \sigma'_{т\ рад} = 0 \\ E'_{рад} = 0 \\ \sigma'_{в\ ос} = \dfrac{0{,}65\sigma_{в\ ПП} \times S_{груз} + \sigma_{в\ ПНД} \times S_{кам}}{S_{вн\ экв\ слой}} \\ \sigma'_{т\ ос} \sim \sigma'_{в\ ос} \\ E'_{ос} = E_{ПП} \end{cases}$$

# Основные положения прочностного расчета ГПМТ

$$\begin{cases} \sigma_{\text{в рад}} = 0{,}74\ \sigma_{\text{в каркас}} \\ \sigma_{\text{т рад}} = 0{,}74\ \sigma_{\text{т каркас}} \\ E_{\text{рад}} = 0{,}74\ E_{\text{каркас}} \\ \sigma_{\text{в ос}} = 0 \\ \sigma_{\text{т ос}} = 0 \\ E_{\text{ос}} = 0 \end{cases}$$

Система, определяющая механические свойства внутреннего слоя двухслойной эквивалентной модели

$$\begin{cases} \sigma'_{\text{в рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{т рад}} = 0 \\ E'_{\text{рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{в ос}} = \dfrac{0{,}65\sigma_{\text{в ПП}} \times S_{\text{груз}} + \sigma_{\text{в ПНД}} \times S_{\text{кам}}}{S_{\text{вн экв слой}}} \\ \sigma'_{\text{т ос}} \sim \sigma'_{\text{в ос}} \\ E'_{\text{ос}} = E_{\text{ПП}} \end{cases}$$

Система, определяющая механические свойства внешнего слоя двухслойной эквивалентной модели

Формулы для проведения прочностного расчета ГПМТ по уравнениям Лапласа с использованием эквивалентной модели

$$P_{\text{кр}} = \frac{2t \times \sigma_{\text{в рад}}}{d_{\text{н1}}} \qquad P_{\text{кр}} = \frac{4t \times \sigma'_{\text{в ос}}}{d_{\text{вн2}}} \qquad P_{\text{кр}} = \frac{2t \times \sigma_{\text{в рад}}}{nd_{\text{н1}}}$$

Формулы для проведения прочностного расчета ГПМТ по существующим методикам

$$P_{\text{кр}} = \frac{2\text{К}}{t_{\text{ш}} \times d_{tk}} \qquad P_{\text{кр}} = \frac{4T_{\text{разр}}}{\pi(d_{\text{внеш}} - t_{\text{ГПМТ}})^2}$$

# Исходные данные для прочностного расчета ГПМТ и их результаты

ИД для расчета внутреннего слоя эквивалентной оболочки

| Исходный параметр | Номинальный диаметр ГПМТ, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| **Толщина внутреннего слоя экв. модели t, мм** | 3 | | |
| **$\sigma_{в\ рад}$, МПа** | 725 | | |
| **$d_{н1}$, мм** | 69 | 96 | 116 |

ИД для расчета внешнего слоя эквивалентной оболочки

| Исходный параметр | Номинальный диаметр ГПМТ, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| **Толщина внешнего слоя экв. модели t, мм** | 8 | | |
| **$\sigma'_{в\ ос}$, МПа** | 61,4 | 67,3 | 72,0 |
| **$d_{н2}$, мм** | 69 | 96 | 116 |

ИД для расчета ГПМТ как армированной оболочки со спиральным каркасом

| Исходный параметр | Номинальный диаметр ГПМТ, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| **Крепость элементов каркаса, К, кН** | 6,92 | | |
| **Шаг навивки спирали, $t_ш$, мм** | 3,2 | | |
| **$d_{tk}$, мм** | 63 | 90 | 110 |

ИД для расчета внутреннего критического давления ГПМТ по традиционной методике

| Исходный параметр | Номинальный диаметр ГПМТ, мм | | |
|---|---|---|---|
| | 50 | 75 | 100 |
| **$T_{разр}$, кН** | 114,0 | 153,9 | 182,6 |
| **$d_{внеш}$, мм** | 94,2 | 121,2 | 141,2 |
| **$t_{ГПМТ}$, мм** | 21,4 | 23,8 | 25,6 |

Расчетные значения критического внутреннего давления $P_{кр}$ для спирального проволочного каркаса и внутреннего слоя экв. модели

| Номинальный диаметр DN, мм | Расчетное критическое давление, МПа | | |
|---|---|---|---|
| | Спиральный проволочный каркас | Внутренний слой экв. модели | Внутренний слой экв. модели с коэфф. n |
| **50** | 68,7 | 63,0 | 54,8 |
| **75** | 48,1 | 45,3 | 39,4 |
| **100** | 39,3 | 37,5 | 32,6 |

Расчетные значения критического внутреннего давления $P_{кр}$ осевой составляющей по традиционной методике и внешнему слою экв. модели

| Номинальный диаметр DN, мм | Расчетное критическое давление, МПа | |
|---|---|---|
| | Традиционная методика | Внешний слой экв. модели |
| **50** | 27,4 | 28,5 |
| **75** | 20,7 | 22,4 |
| **100** | 17,4 | 19,9 |

# Алгоритм расчета АМПТ на прочность с использованием эквивалентной двухслойной модели

1. Определение основных несущих слоев нефтегазовой АМПТ, воспринимающих радиальную и осевую растягивающую нагрузки, их геометрических параметров (толщины, диаметра, угла навивки) и материального исполнения;

2. Выбор геометрических параметров (толщины, диаметра) слоев эквивалентной двухслойной модели, определение характера нагрузок, воспринимаемых слоями эквивалентной модели;

3. Определение механических свойств слоев эквивалентной модели исходя из геометрических параметров и механических свойств несущих слоев нефтегазовой АМПТ;

4. Расчет АМПТ на прочность с использованием полученной эквивалентной модели по методикам расчета тонкостенных цилиндров по уравнениям Лапласа.

# Общий вид систем уравнений, описывающих прочность слоев эквивалентной модели

$$\begin{cases} \sigma_{\text{в рад}} = \dfrac{a_1 \times \sigma_{\text{в каркас 1}} \times t_{\text{каркас 1}} + a_2 \times \sigma_{\text{в каркас 2}} \times t_{\text{каркас 1}} + \ldots + a_n \times \sigma_{\text{в каркас } n} \times t_{\text{каркас } n}}{t_{\text{экв внутр}}} \\ \sigma_{\text{т рад}} = \dfrac{a_1 \times \sigma_{\text{т каркас 1}} \times t_{\text{каркас 1}} + a_2 \times \sigma_{\text{т каркас 2}} \times t_{\text{каркас 1}} + \ldots + a_n \times \sigma_{\text{т каркас } n} \times t_{\text{каркас } n}}{t_{\text{экв внутр}}} \\ E_{\text{рад}} = a_{\text{макс}} \times E_{\text{каркас макс}} \\ \sigma_{\text{в ос}} = 0 \\ \sigma_{\text{т ос}} = 0 \\ E_{\text{ос}} = 0 \end{cases}$$

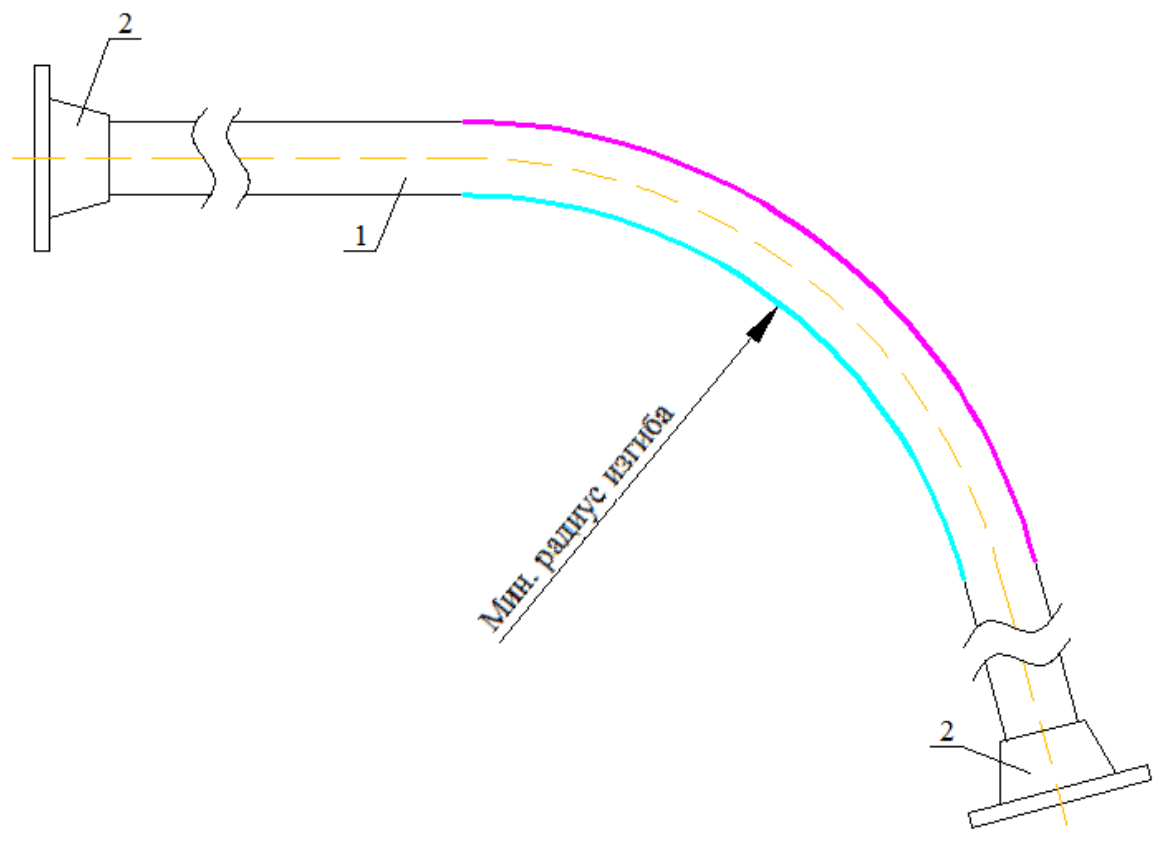
$$\begin{cases} \sigma'_{\text{в рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{т рад}} = 0 \\ E'_{\text{рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{в ос}} = \dfrac{b_1 \times \sigma_{\text{в груз 1}} \times S_{\text{груз 1}} + b_2 \times \sigma_{\text{в груз 2}} \times S_{\text{груз 2}} + \ldots + b_n \times \sigma_{\text{в груз } n} \times S_{\text{груз } n}}{S_{\text{экв внеш}}} \\ \sigma'_{\text{т ос}} = \dfrac{b_1 \times \sigma_{\text{т груз 1}} \times S_{\text{груз 1}} + b_2 \times \sigma_{\text{т груз 2}} \times S_{\text{груз 2}} + \ldots + b_n \times \sigma_{\text{т груз } n} \times S_{\text{груз } n}}{S_{\text{экв внеш}}} \\ E'_{\text{ос}} = b_{\text{макс}} \times E_{\text{груз макс}} \end{cases}$$

# Основные выводы

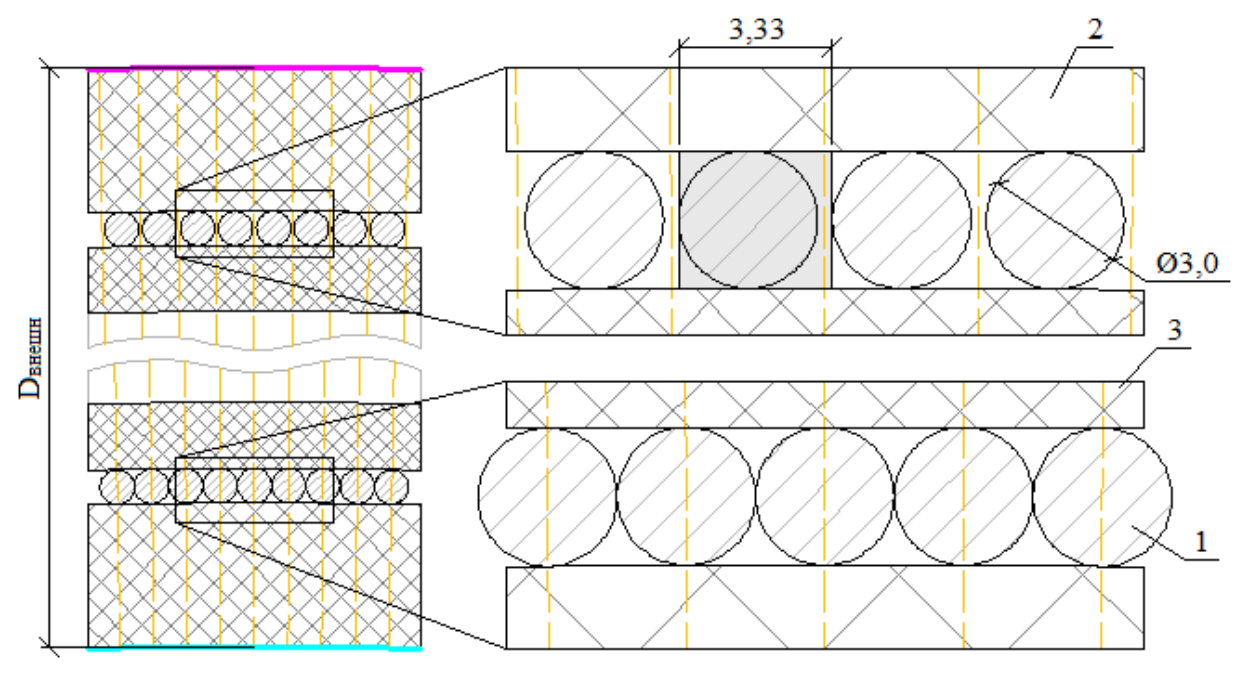
1. По итогам анализа условий эксплуатации, конструктивных особенностей, материального исполнения слоев и механических свойств используемых материалов сформулирована и предложена эквивалентная двухслойная модель для прочностного расчета применяемых в нефтегазовой промышленности АМПТ. Для каждого из слоев модели были обоснованы диаметр, толщина, ортотропный характер механических свойств и определены системы уравнений, описывающих условия выражения механических свойств по осям. На основании результатов лабораторных экспериментов, аналитических исследований и решения задач методом конечных элементов были определены численные значения механических свойств слоев эквивалентной модели для одного из частных случаев АМПТ (гибкой полимерно-металлической трубы ГПМТ);
2. Благодаря полученным значениям механических характеристик ортотропных слоев проведен прочностной расчет частного случая АМПТ по уравнению Лапласа для расчета тонкостенных цилиндров на прочность с использованием эквивалентной двухслойной модели. Результаты расчетов сравнивались с традиционными методиками расчета АМПТ и паспортными значениями, при этом максимальное расхождение при этом составило 4…14,3% в зависимости от DN и типа расчета;
3. Представлен общий алгоритм проведения прочностного расчета по внутреннему давлению для АМПТ любой конструкции. Алгоритм включает в себя методику расчета АМПТ с представлением ее в виде эквивалентной двухслойной модели в зависимости от количества слоев, их материального исполнения и конструктивных особенностей. Использование алгоритма позволяет упростить расчет многослойных армированных труб, шлангокабелей и буровых рукавов.

**Спасибо за внимание**

# Приложение 1

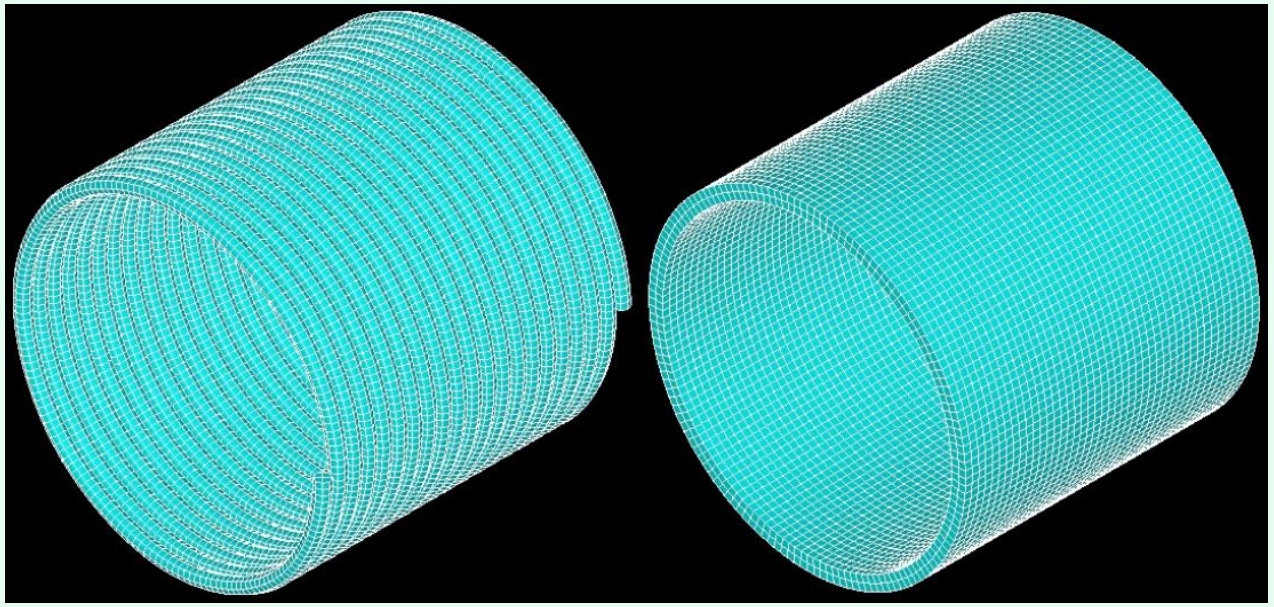



Общий вид участка изгиба

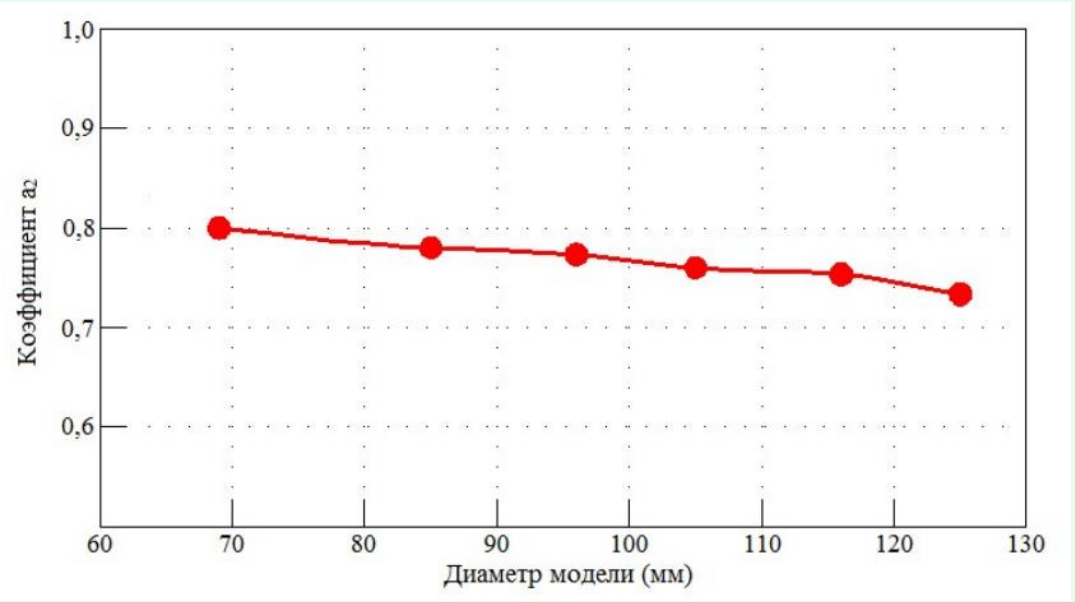



Фрагмент продольного сечения изогнутого участка ГПМТ

# Приложение 2



Общий вид спиральной и цилиндрической моделей




Зависимость значения коэфф. $a_2$ от диаметра модели

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

# Нормативная база, регламентирующая требования к трубопроводам из полимерных материалов.

**Докладчик:**
Руководитель
Департамента специального материаловедения
Федотова Анна Владимировна

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe
(Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

**API SPEC 15LE** - Specification for Polyethylene Line Pipe (PE)
(Спецификация для полиэтиленовых трубопроводных труб
(PE)

**API SPEC 17J** - Specification for Unbonded Flexible Pipe
(Спецификация несвязанных гибких труб)

**API STD 1104** - Welding of Pipelines and Related Facilities (Сварка трубопроводов и связанных с ними объектов)

**Данные документы стали основой для разработки ГОСТ 59834 ГОСТ 59910**

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## **API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

## Основные положения стандарта:



**Таблица 1 - Стандарты на полимерные материалы**

| Полимер | Стандарт | Заглавие: |
|---|---|---|
| Полиэтилен (PE) | ASTM D2513-14, раздел 4 или ASTM F2619-13, раздел 4 или API 15LE, 4-е издание, разделы 2 и 5.1.1 или ISO 4437-1: 2014 | *Стандартные технические условия для полиэтиленовой (PE) трубы под давлением газа, трубопровода малого диаметра и фитингов*<br>*Стандартные технические условия для полиэтиленовой (PE) трубы высокой плотности*<br>*Спецификация на полиэтиленовую трубу (PE)*<br>*Системы пластиковых трубопроводов для подачи газообразного топлива — Полиэтилен (PE)* |
| Все полиамиды (нейлоны) | ASTM D6779 | *Стандартная система классификации и основа технических условий на материалы для литья под давлением и экструзии полиамидов (PA)* |
| PPS | ASTM D6358<br>ASTM D4067 | *Стандартная система классификации и основа технических условий на материалы для литья под давлением и экструзии полиэстера (фениленсульфида) (PPS) с использованием методов ISO*<br>*Стандартная система классификации и основа технических условий на материалы для литья под давлением и экструзии армированного и заполненного полиэстера (фениленсульфида) (PPS) с использованием методов ASTM* |
| Полипропилен | ASTM D4101<br>ASTM D5857 | *Стандартные технические условия на материалы для литья под давлением и экструзии полипропилена*<br>*Стандартные технические условия на материалы для литья под давлением и экструзии полипропилена с использованием протокола и методологии ISO* |
| PVDF | ASTM D3222 | *Стандартные технические условия на немодифицированные полиэстерные (винилиденфторидные) (PVDF) формовочные экструзионные материалы и материалы для покрытий* |
| | ASTM D5575 | *Стандартная система классификации для сополимеров винилиденфторида (VDF) с другими фторированными мономерами* |
| PEX | ASTM F876 | *Стандартные технические условия для труб из сшитого полиэтилена (PEX)*<br>*ПРИМЕЧАНИЕ Требования к размерам не распространяются на применения по API 15S.* |
| Другие полимеры | ASTM D4000 | *Стандартная система классификации для заданных пластичных материалов* |



**Таблица 2 - Требования к свойствам экструдированных полимеров**

| Характеристика | Испытания | Стандарт | Вкладыш | Армирующий слой | Покрытие |
|---|---|---|---|---|---|
| Механические/физические свойства | Сопротивление ползучести | ASTM D2990 | X | | X |
| | Предел текучести/относительное удлинение | ASTM D638 | X | | X |
| | Временное сопротивление/относительное удлинение | ASTM D638 | X | | X |
| | Свойства при релаксации напряжений | ASTM E328 | X | | X |
| | Модуль упругости | ASTM D638 | X | | X |
| | Прочность на сжатие | ASTM D695 | X | | X |
| | Ударная вязкость | ASTM D256 | X | | X |
| | Плотность | ASTM D792 или D1505 | X | | X |
| | Чувствительность к надрезу | ASTM D256 | X | | X |
| Термические свойства | Температура охрупчивания (или стеклования) | ASTM D746 или ASTM E1356 | X | | X |
| | Температура стеклования и температура плавления | ASTM D3418-12e1 или ISO 11357 | X | | X |
| Характеристики проницаемости | Проницаемость для жидкости | API 17J, 4-е издание п. 6.2.3.2 | X | | X |
| | Устойчивость против пузырения | API 17J, 4-е издание п.6.2.3.3 | X | | X |
| Совместимость и старение | Совместимость жидкостей | См. 4.2.1.2 | X | X | X |
| | Испытания на старение | См. 4.2.1.2 | X | X | X |
| | Устойчивость к атмосферному воздействию | ASTM D2565 | | | X |

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

Основные положения стандарта:

### 4.2.2 Армирующий слой

### 4.2.2.1 Общие положения

Армирующий слой, включая любые связующие вещества, должен сохранять свою целостность в заданных условиях эксплуатации. Производитель должен документировать данные испытаний, которые демонстрируют кратковременную и долговременную несущую способность слоя, температурные возможности, требуемую совместимость жидкостей и характеристики старения всех используемых материалов. Соединения или сварные швы в арматуре должны выполняться аттестованным оператором в соответствии с аттестованной процедурой.

Изменения структурного слоя могут потребовать повторной аттестации—дополнительную информацию см. в п. 5.6.

**Обратите внимание**

**Изменение материала или способа намотки требуют повторной аттестации конструкции трубы!!!**

**4.2.2.2 Стальные армирующие материалы**

**4.2.2.2.1 Общие положения**

Стальные материалы, используемые в наматываемой на катушку трубе, должны заказываться в соответствии с письменной спецификацией материала или отраслевым стандартом.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to ООО «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.



Производитель должен подготовить отчет об аттестации материала, который подтверждает, что армирование соответствует указанным требованиям.

Только материалы с той же спецификацией материалов (включая химический состав и историю обработки, то есть термическую обработку и холодную деформацию), которые используются в аттестационных испытаниях, должны рассматриваться как аттестованные.

**4.2.2.2.2 Коррозионная стойкость**

Выбор стального материала должен учитывать коррозионное воздействие, соответствующее окружающей среде, которой подвергается слой.

**4.2.2.2.3 Катодная зарядка**

Стальное армирование, которое предназначено или может подвергаться катодной защите, должно пройти аттестационные испытания, чтобы подтвердить, что потенциальное выделение водорода в результате катодной зарядки не приводит к водородному охрупчиванию.

Испытания должны проводиться на обезжиренных образцах, нагруженных до фактического предела текучести 75% и погруженных в деаэрированную морскую воду (минимум 3 % NaCl по весу) с приложенным потенциалом 1,05 В по сравнению с SCE. Катодная зарядка должна применяться в течение не менее, чем 150 часов. После испытания должно быть проведено исследование, чтобы подтвердить, что в образце под действием водорода не произошло пузырение или растрескивание.

**4.2.2.2.4 Работа в сероводородсодержащей среде**

**4.2.2.2.4.1** Для продуктов, которые должны быть аттестованы для применения в сероводородсодержащей среде, пороговые пределы стального армирования для HIC и SSC должны быть испытаны в соответствии с NACE TM0177 или указанными производителем критериями, за следующими исключениями:

a) испытательная жидкость должна представлять собой водный раствор, насыщенный смешанным газом, имеющим эквивалентное парциальное давление $H_2S$, $CO_2$ и $CH_4$ в межтрубном пространстве;

   1) если производитель не имеет проверенной модели для расчета условий межтрубного пространства, должны использоваться эквивалентные парциальные давления в канале трубы;

   2) $CH_4$ может быть заменен другим инертным газом;

b) испытания должны проводиться при температуре окружающей среды ;

c) продолжительность испытания должна составлять не менее 720 часов;

d) в случае испытания полимерно-металлического композитного армирования продолжительность испытания 720 часов должна быть увеличена на время, необходимое для проникновения коррозионных веществ через матричный материал;

e) образцы должны быть нагружены по крайней мере до 90 % SMYS;

f) должны использоваться испытания на растяжение или испытания на изгиб в четырех точках; а также

g) размеры образца могут отклоняться от требований TM0177 в зависимости от формы используемого армирования.

Если применимо, производственные сварные швы должны быть включены в стальное армирование, чтобы аттестоваться для применения в сероводородсодержащей среде.



**4.2.2.2.4.2** Испытываемые образцы должны выдерживать испытание продолжительностью 720 часов без разрушения. После испытания на SSC должна быть проверена подверженность стального армирования растрескиванию HIC в соответствии с разделом 7 стандарта NACE TM0284-2011. Если производитель и заказчик не договорились об ином, критерии приемки должны быть следующими:

a) CLR < 15 %

b) CTR < 3 %

c) CSR < 1,5 %

В тех случаях, когда размеры проволоки или нити составляют меньше 1 мм$^2$ и не позволяют проводить испытания на HIC, после испытания на SSC должно проводиться испытание на осевую нагрузку в соответствии со стандартом ASTM A370. Осевая нагрузка при разрушении после воздействия SSC должна соответствовать минимальной заданной осевой нагрузке при разрушении на основе минимальной площади поперечного сечения и минимальных механических свойств армирования. Заказчик должен осознавать, что изменения условий эксплуатации могут повлиять на работоспособность труб.

**4.2.2.3 Армирование неметаллическими волокнами**

**4.2.2.3.1 Общие положения**

Волокно должно быть ровницей или нитью и заказываться в соответствии с письменной спецификацией материала или отраслевым стандартом. Спецификация должна, как минимум, включать требуемые значения и допуски для физико-механических характеристик. Волокно должно отвечать всем общим требованиям к армирующему слою, изложенным в пункте 4.2.2.1, и в отношении требований к совместимости жидкостей, особое внимание должно уделяться гидролизу и воздействию pH.

Волокна могут быть встроены в матрицу.

Производитель должен подготовить отчет об аттестации материала, который подтверждает, что армирование соответствует указанным требованиям.

Аттестованными считаются только материалы с той же спецификацией материалов, что и при аттестационных испытаниях.

**4.2.2.3.2 Стекловолокно**

Для стекловолокна, предназначенного для использования в матрице, волокна должны иметь размер, совместимый с предполагаемым полимером.

Спецификация стекловолокна должна включать диаметр нити, номинальную линейную плотность ровницы, размер и состав материала или классификацию семейства материалов.

**4.2.2.3.3 Армирование арамидным волокном**

Арамидные волокна представляют собой нити или ленты с полимерным покрытием. Спецификация должна включать кратковременную разрывную нагрузку для нити или пряжи, определяемую в соответствии с методом испытания ASTM D7269, а также должна включать линейную плотность волокна. Для нитей необходимо указывать скручивание в витках на единицу длины.

**4.2.2.3.4 Армирование из полиэфирного волокна**

Полиэфирные волокна представляют собой нити или ленты с полимерным покрытием. Спецификация должна включать кратковременную разрывную нагрузку для нити или пряжи, определяемую в соответствии с методом испытания ASTM D885 или D2256, а также должна включать линейную плотность волокна. Для нитей необходимо указывать скручивание в витках на единицу длины.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to ООО «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

Основные положения стандарта:

**Обратите внимание**

**Материал фитинга тоже требует аттестации особенно при работе в сероводородных средах!!!**



#### 4.2.2.3.5 Материал матрицы

Материал матрицы должен быть заказан в соответствии с письменной спецификацией материала или промышленным стандартом и должен быть материалом, подходящим по назначению. Изменения в материале матрицы могут потребовать повторной аттестации — см. п. 5.6 для получения дополнительной информации.

#### 4.2.2.3.5.1 Термореактивный полимер

Производитель должен определить степень отверждения, основываясь на методике (DSC или DMA), процедуре и значении, полученном после измерения $T_g$ на каждом из образцов трубы (минимум 18), используемых для аттестации продукта в п. 5.3.3. Значение $T_g$ термореактивного полимера для цели контроля качества/обеспечения качества должно быть установлено как:

a) среднее значение $T_g$ всех образцов, используемых для аттестации компонентов продукта, за вычетом трех стандартных отклонений; и

b) минимум на 15 °C выше максимальной номинальной температуры продукта, если $T_g$ измеряется установленным значением термограммы DSC; или на 20 °C, если $T_g$ измеряется установленным значением модуля хранения кривых DMA.

Производитель должен убедиться в том, что образцы, использованные в ходе испытаний, описанных в пунктах 5.3.4 и 5.3.5, соответствуют заданному значению, определенному в пункте выше.

#### 4.2.2.3.5.2 Термопластичный полимер

Должно быть доказано, что термопластичные полимеры сохраняют целостность и пригодность для использования в проектных условиях на основе испытаний, указанных в Таблице 2.

#### 4.2.3 Материалы покрытия

Материал покрытия должен выполнять свои функции в указанных производителем условиях эксплуатации. Термопластичные соединения должны соответствовать требованиям стандартов на материалы, перечисленных в Таблице 1, и пригодность для этой цели должна быть установлена на основе испытаний, указанных в Таблице 2.

Покрытие должно обладать достаточной низкотемпературной пластичностью для предполагаемых условий монтажа и рабочих температур. Сопротивление к нагрузкам монтажа и условиям окружающей среды должно быть задокументировано, если это требуется применением или заказчиком. Примечание: примеры включают солнечное излучение (УФ) и износостойкость.

Покрытие должно отвечать требованиям испытаний, изложенным в пунктах 5.7.2 и 5.7.3.

Температура охрупчивания должна быть не ниже минимальной расчетной температуры при испытании в соответствии с ASTM D746.

Изменения покрытия могут потребовать повторной аттестации — дополнительную информацию см. в п. 5.6.

#### 4.2.4 Концевые фитинги и муфты между трубами (полевые фитинги)

Полевые фитинги должны сохранять свою целостность в принятых условиях эксплуатации. Производитель должен документировать данные испытаний, которые демонстрируют долговременную целостность фитинга.

#### 4.2.4.1 Общие положения

Фитинги должны быть изготовлены из материалов в соответствии с письменной спецификацией или применимым отраслевым стандартом. Материал фитинга должен выполнять свои функции в указанных производителем условиях эксплуатации. Должны использоваться только полевые фитинги, аттестованные производителем труб.



#### 4.2.4.2 Сварка фитингов

Фитинги, изготовленные с использованием сварки под давлением, должны быть аттестованы в соответствии с подходящей спецификацией процедуры сварки согласно местным нормативным требованиям к трубопроводам или как минимум в соответствии с ASME BPVC, Секция IX. Инспекция сварных швов должна проводиться в соответствии с местными нормативными требованиями к трубопроводу или в соответствии с требованиями стандартов ASME B31.3 или API 1104, если применимо.

#### 4.2.4.3 Коррозионная стойкость

Выбор стали должен учитывать коррозионное воздействие, соответствующее окружающей среде, которой подвергается фитинг.

#### 4.2.4.3.1 Катодная зарядка

Все металлические фитинговые элементы, предназначенные для катодной защиты или подлежащие катодной защите, должны быть изготовлены из материалов, устойчивых к водородному охрупчиванию в соответствующих условиях.

Стальные фитинги должны пройти аттестационные испытания, чтобы подтвердить, что потенциальное выделение водорода в результате катодного заряжения не приводит к водородному охрупчиванию. Испытания должны проводиться на обезжиренных образцах, нагруженных до фактического предела текучести 75% и погруженных в деаэрированную морскую воду (минимум 3 % NaCl) с приложенным потенциалом 1,05 В по сравнению с SCE. Катодная зарядка должна применяться в течение не менее 150 часов. После испытания должно быть проведено исследование, чтобы подтвердить, что в образце под действием водорода не произошло пузырение или растрескивание.

#### 4.2.4.3.2 Работа в сероводородсодержащей среде

Материалы компонентов фитингов для применения в сероводородсодержащей среде в контакте с транспортируемыми жидкостями должны выбираться в соответствии с NACE MR0175/IS0 15156. Если требуется аттестационное испытание материалов или сварных соединений, то оно должно проводиться в соответствии с процедурой испытания стандарта NACE TM0177.

## 5 Программа аттестации

### 5.1 Общие положения

В настоящем разделе указаны требования к аттестации трубного элемента, концевых фитингов, муфт, а также к общим характеристикам. Производитель несет ответственность за демонстрацию соответствия требованиям настоящей спецификации. Отчет об аттестационных испытаниях должен постоянно храниться у производителя, а копия должна предоставляться заказчику по запросу. Любой заказчик может провести любое дополнительное расследование, необходимое для подтверждения соответствия производителем.

В тех случаях, когда необходимо добавить соединения любого типа в изготовленную трубу, образцы, содержащие соединения, должны либо использоваться в процедуре полной аттестации, либо рассматриваться в качестве PV.

Стыковые сварные соединения термопластичных вкладышей освобождаются от этого при условии соблюдения соответствующих процедур для обеспечения стабильного высокого качества сварки, как описано в пункте 4.2.1.1.

Введение в терминологию, используемую в настоящем разделе, см. в дополнении H.

Если не указано иное, длина образца для испытания должна соответствовать стандарту ASTM D1599. Для номинальных диаметров восемь дюймов и более могут использоваться более короткие образцы для испытаний, чем предписано в ASTM D1599, если производитель может продемонстрировать техническими средствами, что уменьшенная длина оправдана.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to ООО «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

Основные положения стандарта:

**Обратите внимание**
**Аттестация проводится не менее чем на 5 образцах!!!**
**Размеры образцов указаны в ASTM D1599 (ГОСТ 57034)**

**5.1 Подготовка образцов**

5.1.1 Для определения сопротивления труб и фитингов кратковременному воздействию гидравлического давления используют не менее пяти образцов, если иное не установлено в нормативном документе или технической документации на изделие.

5.1.2 Образцы должны быть без сколов, царапин и иных механических повреждений.

5.1.3 Для испытания труб применяют образцы, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- для труб номинальным диаметром не более *DN* 150 длина образца между заглушками должна быть 5*DN*, но не менее 300 мм;
- для труб номинальным диаметром более *DN* 150 длина образца между заглушками должна быть 3*DN*, но не менее 760 мм.

5.1.4 Для испытания фитингов в качестве образцов используют готовое изделие.

5.1.5 Для испытания трубопроводов используют соединенные образцы, отвечающие требованиям 5.1.2—5.1.4.



## 5.2 Номинальное давление в армированной сталью трубе

### 5.2.1 Общие положения

Стальное армирование не обладает значительными регрессионными свойствами. По этой причине MPR должен быть основан на рассчитанном минимальном давлении разрыва ($P_{burst, min}$) трубы в соответствии с пунктом 5.2.5.

MPR PFR и все варианты продукта должны быть подтверждены испытаниями на давление разрыва в соответствии с пп. 5.2.3.3 и 5.2.5, которые должны быть верифицированы и сертифицированы независимым сторонним агентством, соответствующим ISO/IEC 17020 и/или ISO/IEC 17065, или должны проводиться в аккредитованной лаборатории ISO 17025. Все разрушенные образцы, включая любые образцы, разрушенные не в режиме PM, должны быть указаны в отчете об аттестации.

### 5.2.2 Описание семейства продуктов

Диапазон размеров семейства продуктов может включать отклонение от номинального диаметра - 2 дюйма (51 мм)/+ 4 дюйма (102 мм) при давлении от PFR и от 1/2- до 2-кратного значения номинального давления PFR. Изменения номинального размера и/или давления за пределами этих диапазонов требуют полной аттестации в качестве нового PFR в соответствии с Разделом 5. Изменения в пределах этих диапазонов требуют аттестации в качестве вариантов продукта.

Номинальный диаметр PFR должен составлять не менее 2 дюймов. (51 мм) в соответствии с 7.1 и должны быть испытаны в соответствии с п. 5.2.3 для того чтобы определить свойства для семейства продуктов.

### 5.2.3 Аттестация представителя семейства продуктов

#### 5.2.3.1 Требования к испытаниям

Все аттестационные испытания, предусмотренные пп. 5.2, 5.4, 5.5 и 5.7, должны проводиться на катушках, содержащих основной элемент трубы, вместе с одним или несколькими типами концевых фитингов.

Все испытания должны проводиться с незакрепленными концами. Допускаются.фитинги для лабораторных испытаний. Для номинальных диаметров восемь дюймов и более могут использоваться более короткие образцы для испытаний, чем предписано в ASTM D1599, если производитель может продемонстрировать техническими средствами, что уменьшенная длина оправдана.

Поскольку аттестационные испытания, как правило, проводятся при температуре окружающей среды, производитель должен выбрать MAOT и подтвердить путем испытаний в соответствии с п. 5.4.3.

#### 5.2.3.2 Предварительное кондиционирование образцов

Образцы для испытаний должны быть либо предварительно кондиционированы, либо пройти испытания, описанные в п. 5.5.2. Если предварительное кондиционирование считается необходимым, в соответствии с п. 5.5.2, образцы для испытаний должны быть предварительно кондиционированы до заявленного допустимого MBR обработки или заявленного допустимого числа циклов повторного наматывания (или обоих, если оба испытания не были успешными в п. 5.5.2) до выполнения аттестационных испытаний PFR.

#### 5.2.3.3 Подтверждение MPR

MPR PFR, рассчитанный в соответствии с пунктом 5.2.5, должен быть подтвержден испытанием под давлением разрыва не менее чем на пяти образцах в соответствии с пунктом 5.2.4. Нижняя граница прогнозирования 97,5 % набора образцов для испытания на разрыв должна рассчитываться с использованием t-распределения Стьюдента. Для подтверждения MPR рассчитанная нижняя граница прогнозирования 97,5 % должна быть больше или равна $MPR/F_d$. Ни один образец для испытания не должен быть ниже $MPR/F_d$. Для ознакомления с методологией расчета нижней границы прогнозирования 97.5 % обратитесь к Дополнению J .

#### 5.2.3.4 Допустимые режимы разрушения

Допустимым режимом разрушения является разрыв армирования при растяжении.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to OOO «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.



Если во время аттестационных испытаний существует режим разрушения, отличный от допустимого, то этот результат испытания должен быть отброшен при расчете средних значений или построении графика данных.

ПРИМЕЧАНИЕ Примером недопустимого режима разрушения является выталкивание трубы из фитинга или муфты.

#### 5.2.3.5 Кратковременное давление разрыва

Кратковременные испытания под давлением разрыва должны проводиться в соответствии с API 17B или ASTM D1599, Метод A. Для целей настоящего стандарта данные методы испытаний достигают одной и той же цели и могут считаться эквивалентными.

Продолжительность испытания может быть увеличена для испытания продуктов большего диаметра и высокого давления, а также применения общедоступного оборудования для опрессовки. Используемый диапазон продолжительности испытания должен быть кратен диапазону, предписанному в ASTM D1599. Используемый диапазон продолжительности испытания должен быть включен в отчет об аттестации, и такой же диапазон продолжительности должен использоваться для испытания для обеспечения качества.

Предварительное кондиционирование образцов для характеризования кратковременного давления разрыва не требуется. Если для определения характеристик кратковременного давления разрыва используется предварительное кондиционирование, то такое же предварительное кондиционирование должно использоваться и для испытаний для обеспечения качества.

### 5.2.4 Аттестация вариантов продукта

Производитель должен проводить испытания всех PV в рамках каждого семейства продуктов. Все PV должны быть аттестованы путем испытания под давлением разрыва по крайней мере на пяти образцах в соответствии с пунктом 5.2.4. Нижняя граница прогнозирования 97,5 % набора образцов для испытания на разрыв должна рассчитываться с использованием t-распределения Стьюдента. Для PV, которые требуют аттестации, рассчитанная 97,5 % нижняя граница прогнозирования должна быть больше или равна MPR/Fd. Обратитесь к Дополнению J для ознакомления с методологией расчета 97.5 % нижней границы прогнозирования. Допустимые режимы разрушения должны соответствовать требованиям пункта 5.2.3.4.

### 5.2.5 Максимальное допустимое давление

Показатель MPR должен рассчитываться следующим образом:

$$MPR = P_{burst, min} \times F_d \quad (1)$$

где

$P_{burst, min}$ - рассчитанное минимальное давление разрыва.

Производитель должен убедиться, что $P_{burst, min}$ рассчитывается на основе минимальной площади поперечного сечения и минимальных механических свойств армирования.

Должен использоваться максимальный расчетный коэффициент $F_d = 0,5$, основанный на следующем:

a) рабочей жидкостью является вода (см. руководство по другим жидкостям в разделе 4 и Дополнении F);

b) нагрузка является статической (для циклической нагрузки см. Дополнение G); и

c) монтаж в полном соответствии с рекомендациями и требованиями производителя (руководство по обращению, монтажу и эксплуатации см. в Дополнении D).

Если условия эксплуатации не соответствуют данным базовым условиям, то следует рассмотреть вопрос о проведении дополнительных испытаний или анализа.

Коэффициенты рабочей жидкости могут применяться к продукту на основе местных правил и требований пользователя и выходят за рамки настоящего документа. Руководящие принципы для $F_{Sns}$ представлены в Дополнении F.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to OOO «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

Основные положения стандарта:



### 5.3 Номинальное давление в армированной неметаллом трубе

#### 5.3.1 Общие положения

Неметаллическое армирование обладает значительными регрессионными свойствами. По этой причине MPR должен основываться на расчетном коэффициенте, применяемом к долгосрочному гидростатическому давлению трубы.

MPR PFR и все варианты продукта должны быть подтверждены испытаниями на долгосрочное гидростатическое давление в соответствии с п. 5.3, которые должны быть верифицированы и сертифицированы независимым сторонним агентством, соответствующим ISO/IEC 17020 и/или ISO/IEC 17065, или должны проводиться в аккредитованной лаборатории ISO 17025. Все разрушенные образцы, включая любые образцы, разрушенные не в режиме PM, должны быть указаны в отчете об аттестации.

Долгосрочное гидростатическое давление должно быть разработано и указано в отчете в соответствии с методологией ASTM D2992-12, Процедура B.

#### 5.3.2 Описание семейства продуктов

Диапазон размеров семейства продуктов может включать отклонения от номинального диаметра -2 дюйма (51 мм)/+ 4 дюйма (102 мм) от PFR и от $^{1}/_{2}$- до 2-кратного значения номинального давления PFR. Изменения номинального размера и/или давления за пределами этих диапазонов требуют полной аттестации в качестве нового PFR в соответствии с Разделом 5. Изменения в пределах этих диапазонов требуют аттестации в качестве вариантов продукта.

Номинальный диаметр PFR должен составлять не менее 2 дюймов (51 мм) в соответствии с пунктом 7.1, и он должен испытываться в соответствии с пунктом 5.3.3 для определения наклона линии регрессии для семейства продуктов.

#### 5.3.3 Аттестация представителя семейства продуктов

##### 5.3.3.1 Требования к испытаниям

Все аттестационные испытания, предусмотренные пп. 5.3, 5.4, 5.5 и 5.7, должны проводиться на катушках, содержащих основной трубный элемент, вместе с одним или несколькими типами концевых фитингов.

Все испытания должны проводиться с незакрепленными концами. Допускаются фитинги для лабораторных испытаний. Для номинальных диаметров восемь дюймов и более могут использоваться более короткие образцы для испытаний, чем предписано в ASTM D1598, если производитель может продемонстрировать техническими средствами, что уменьшенная длина оправдана.

##### 5.3.3.2 Предварительное кондиционирование образцов

Образцы для испытаний должны быть либо предварительно кондиционированы, либо пройти испытания, описанные в п. 5.5.2. Если предварительное кондиционирование считается необходимым, в соответствии с п. 5.5.2, образцы для испытаний должны быть предварительно кондиционированы до заявленного допустимого MBR обработки или заявленного допустимого числа циклов повторного наматывания (или обоих, если оба испытания не были успешными в п. 5.5.2) до выполнения аттестационных испытаний PFR.

##### 5.3.3.3 Определение MPR

MPR PFR определяется серией испытаний на разрушение при ползучести под постоянным давлением при температуре аттестационного испытания. Должна использоваться процедура, описанная в ASTM D2992-12, Процедура B. В регрессионные расчеты не должны включаться точки данных ниже 10 часов.

Температура аттестационного испытания должна выбираться производителем и быть большей или равной расчетной температуре в любом применении, для которого используется продукт.

В качестве жидкости для опрессовки обычно используется вода. Если используется альтернативная жидкость, она должна быть указана в отчете об аттестации.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to ООО «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.



##### 5.3.3.4 Допустимые режимы разрушения

Допустимым режимом разрушения является разрыв армирования при растяжении.

Если во время аттестационных испытаний существует режим разрушения, отличный от допустимого, то этот результат испытания должен быть отброшен при расчете средних значений или построении графика данных.

ПРИМЕЧАНИЕ Примером недопустимого режима разрушения является выталкивание трубы из фитинга или муфты.

#### 5.3.4 Установление характеристик кратковременного давления разрыва

Если испытание на разрыв используется для испытаний для обеспечения качества, как подробно описано в п. 6.4, определение характеристик кратковременного давления разрыва требуется для установления базовой прочности на разрыв семейства продуктов.

Наборы результатов кратковременного давления разрыва для PFR и PV должны быть получены в соответствии с ASTM D1599, Процедура A, с использованием не менее пяти образцов в наборе.

Нижняя граница прогнозирования 97.5 % каждого набора образцов для испытания на разрыв должна рассчитываться с использованием t-распределения Стьюдента. Обратитесь к Дополнению J для ознакомления с методологией расчета нижней границы прогнозирования 97.5 %.

Допустимым режимом разрушения является разрыв армирования при растяжении.

Продолжительность испытания может быть увеличена для испытания продуктов большего диаметра и высокого давления, а также применения общедоступного оборудования для опрессовки. Используемый диапазон продолжительности испытания должен быть кратен диапазону, предписанному в ASTM D1599. Используемый диапазон продолжительности испытания должен быть включен в отчет об аттестации, и такой же диапазон продолжительности должен использоваться для испытания для обеспечения качества.

Предварительное кондиционирование образцов для характеристик кратковременного давления разрыва не требуется. Если для определения характеристик кратковременного давления разрыва используется предварительное кондиционирование, то такое же предварительное кондиционирование должно использоваться и для испытаний для обеспечения качества.

#### 5.3.5 Аттестация вариантов продукта

##### 5.3.5.1 Общие положения

Производитель должен испытывать все PV в каждом семействе продуктов, чтобы продемонстрировать, что PV действительно принадлежат к семейству. Полевые фитинги должны использоваться для испытания PV.

##### 5.3.5.2 Аттестация вариантов продуктов, требующих испытания на двух образцах

Чтобы продемонстрировать, что PV выполняет по меньшей мере те же функции, что и полностью аттестованный продукт, подвергаться испытанию должны минимум два образца каждого PV под постоянным давлением в течение 1000 часов. Испытание должно проводиться в соответствии с ASTM D1598 при температуре аттестационного испытания. Оба образца не должны разрушаться ранее чем через 1000 часов. Повторные испытания должны проводиться в соответствии с п. 5.8 Непрохождение повторного испытания требует проведения полного аттестационного испытания.

Выбор испытательного давления для 1000-часового испытания под постоянным давлением для PV должен быть прямо пропорционален 1000-часовому давлению пересечения LPL для PFR и рассчитываться следующим образом::

$$P_{PV1000} = P_{PFR1000} \times (NPR_PV / NPR_PFR) \quad (2)$$

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительные указания по масштабируемости волоконных усилителей приводятся в Дополнении E.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to ООО «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.



#### 5.3.6 Максимальное допустимое давление

Показатель MPR должен рассчитываться следующим образом:

$$MPR = LCL_{RCRT} \times F_d \quad (3)$$

Должен использоваться максимальный расчетный коэффициент $F_d$ = 0,67, основанный на следующем:

a) максимальная расчетная температура равна или меньше, чем температура аттестации;

b) рабочей жидкостью является вода (см. руководство по другим жидкостям в Дополнении F);

c) нагрузка является статической (для циклической нагрузки см. Дополнение G); и

d) монтаж в полном соответствии с рекомендациями и требованиями производителя (руководство по обращению, монтажу и эксплуатации см. в Дополнении D).

Если условия эксплуатации не соответствуют данным базовым условиям, то следует рассмотреть вопрос о проведении дополнительных испытаний или анализа.

Коэффициенты рабочей жидкости могут применяться к продукту на основе местных правил и требований пользователя и выходят за рамки настоящего документа. Руководящие принципы для FSns представлены в Дополнении F.

## Дополнение H
(информативное)

## Терминология регрессионной кривой

Используя метод анализа ASTM D2992-12, Дополнение A1, данные испытаний для PFR используются для построения средней линии регрессии, а также кривых LCL и LPL (см. Рисунок H.1). Кривая LCL построена так, что существует вероятность 97.5 % того, что фактическое среднее давление трубы в зависимости от линии регрессии времени до разрушения находится выше этой кривой. Кривая LPL построена таким образом, что существует вероятность 97,5% того, что давление отдельного испытываемого образца будет выше этой кривой. На Рисунке 1 также показано использование расчетного коэффициента ($F_d$) и $F_{Sn}$ для определения MPR и MOP — см. п. 5.3. Строя эти кривые, производители могут использовать усилие армирования, а не давление.

Производитель может принять решение о разработке дополнительных кривых регрессии при температурах, отличных от температуры первоначального аттестационного испытания. В соответствии с PPI TR-3, значение LCLRCRT при температурах между двумя регрессионными кривыми должно основываться на следующем уравнении:

$$S_T = S_L - \frac{(S_L - S_H)\left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_T}\right)}{\left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_H}\right)} \quad (H.1)$$

где

$S_T$ = $LCL_{RCRT}$ при температуре интерполяции (psi)

$S_L$ = $LCL_{RCRT}$ при более низкой температуре (psi)

$S_H$ = $LCL_{RCRT}$ при более высокой температуре (psi)

$T_T$ = температура интерполяции (K)

$T_L$ = более низкая температура (K)

$T_H$ = более высокая температура (K).

Армированные сталью трубные продукты не проявляют вязкоупругого поведения. Для армированных сталью трубных продуктов традиционно используют кратковременные прочностные свойства для установления долговременных характеристик. Например, испытание на кратковременное давление разрыва обычно выполняется за несколько минут.

Для армированных неметаллами трубных продуктов традиционно используют 10000-часовое регрессионное испытание на прочность для установления долговременных характеристик.

Из-за различных методов, используемых для установления прочностных свойств, расчетные коэффициенты для армированных сталью трубных продуктов по сравнению с армированными неметаллами трубными продуктами также будут устанавливаться с использованием различных методов и будут давать различные коэффициенты. Цель состоит в том, чтобы обеспечить аналогичную производительность конечного продукта.



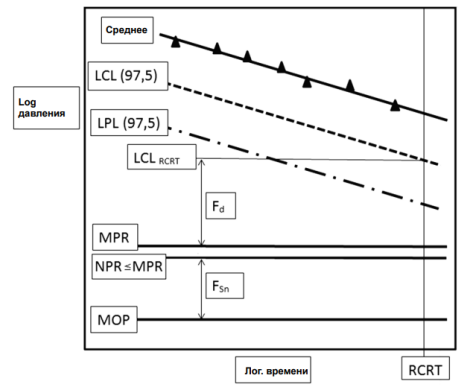



**Рисунок H.1 - Кривая регрессии, кривая LCL, кривая LPL и использование $LCL_{RCRT}$ для определения MPR и MOP**

# ИНОСТРАННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**API SPEC 15S** Spoolable Reinforced Plastic Line Pipe (Наматываемая на катушку армированная пластиковая труба)

Основные положения стандарта:

### 5.4 Полевые концевые фитинги и полевые муфты

#### 5.4.1 Общие положения

Концевые фитинги и муфты, используемые для аттестации, должны собираться в соответствии с письменными инструкциями производителя. Где это указано, должны использоваться только полевые фитинги, аттестованные производителем труб.

Производитель должен указать и обосновать минимальную и максимальную температуру, при которой на трубе может устанавливаться фитинг или муфта.

#### 5.4.2 Аттестация полевых фитингов для представителя семейства продуктов

#### 5.4.2.1 Полевые фитинги, используемые для испытаний

Если полевые фитинги используются для испытаний в соответствии с пп. 5.2 или 5.3.3, то они считаются аттестованными, и испытания в соответствии с п. 5.4.3 по-прежнему требуются.

#### 5.4.2.2 Лабораторные фитинги, используемые для испытаний

Если лабораторные испытательные фитинги используются в пунктах 5.2 или 5.3.3, то испытание должно проводиться в соответствии с пунктами 5.2.5 или 5.3.5 с использованием полевых фитингов для подтверждения того, что полевые фитинги не оказывают отрицательного влияния на MPR. Единственным допустимым режимом разрушения при аттестации полевых фитингов является разрыв при растяжении, и испытания в соответствии с п.

5.4.3 по-прежнему требуются.

#### 5.4.3 Испытание при повышенной температуре

#### 5.4.3.1 Общие положения

Процедура испытания при повышенной температуре должна применяться для обеспечения того, чтобы режимы разрушения, относящиеся к полимерным компонентам трубы в концевом фитинге или муфте, не возникали в промежутке между окончанием периода регрессионного испытания и окончанием расчетного срока службы.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to OOO «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.



Испытание при повышенной температуре должно проводиться на PV из каждого семейства продуктов. Как минимум, должны выбираться следующие варианты:

a) наименьший и наибольший диаметры в каждой группе номинального давления; или

b) самое низкое и самое высокое давление в каждой размерной группе.

Следует учитывать влияние допусков на размеры при промежуточных диаметрах

#### 5.4.3.2 Процедура испытания при повышенной температуре

Производитель должен подвергнуть образцы для испытаний с незакрепленными полевыми концевыми фитингами или муфтами испытанию под постоянным давлением при температуре, превышающей MAOT, следующим образом:

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha}\log\left(\frac{t_{\text{Design Life}}}{t_{\text{Test}}}\right) \quad (4)$$

где

$\alpha$ температурно-временной коэффициент смещения

$t_{\text{Design Life}}$ время расчетного срока службы (часы)

$t_{\text{Test}}$ время испытания (часы)

log логарифм с основанием 10

$\Delta T$ температура испытания минус MAOT продукта.

Для изделий с полиэтиленовыми материалами в соответствии с Таблицей 1 продолжительность испытания должна рассчитываться с использованием $\alpha$ = 0,112 декад/ °C. Для других полимеров, многослойных вкладышей или покрытий, изготовленных из двух или более различных материалов, или для режимов разрушения, отличных от пластичных, должно быть определено значение для альфа или предполагается значение по умолчанию 0,05 декад/ °C.

Для трубы, армированной сталью, минимальное испытательное давление должно составлять 1,5 x NPR. Для армированных неметаллами изделий минимальным испытательным давлением должен быть LCL при RCRT. Период испытания должен составлять по крайней мере время, указанное в приведенной выше формуле. Внутренней средой для образца для испытания трубы должна быть вода. Наружной средой должен быть воздух или водяная баня с контролем температуры. Могут использоваться и другие среды, однако среда должна указываться в отчете об испытании. Испытательная жидкость и наружная стенка трубы должны поддерживаться в пределах ±5 °F (±3 °C) от температуры испытания. В случае неудачных испытаний производитель должен подтвердить, что режим разрушения не является хрупким. Хрупкий режим разрушения не допускается, и решение должно быть принято перед использованием данного испытания. Повторные испытания должны проводиться в соответствии с п. 5.8

ПРИМЕР 1 если $t_{\text{Designlife}}$ = 175 000 часов, $\alpha$ = 0,112 и время испытания должно составлять не менее 1000 часов, то температура испытания должна быть на 36 °F (20 °C) выше, чем температура MAOT продукта.

ПРИМЕР 2 Если исходить из условий Примера 1, то при температуре испытания 45 °F (25 °C), превышающей MAOT, продолжительность испытания составляет не менее 277 часов.

Для каждого типа фитингов или соединительных устройств, которые должны быть аттестованы, должны испытываться по крайней мере два концевых фитинга или соединительных устройства, а длина отрезка трубы между ними должна соответствовать длине, указанной в пунктах 5.2.3.1 или 5.3.3.1. Все образцы должны успешно выдерживать испытания без утечек в течение всего периода испытаний.

После испытания при повышенной температуре в каждом образце для испытания должно быть сброшено давление, и он должен быть выдержан на воздухе в течение не менее 24 часов. Затем образцы для испытаний должны быть подвергнуты давлению до 150 фунт/кв.дюйм ± 50 фунт/кв.дюйм (1,0 МПа ± 0,34 МПа) при температуре окружающей среды и проверены на предмет утечки. Не должно быть видимых утечек в течение 24 часов . Температура окружающей среды должна контролироваться и регистрироваться для облегчения интерпретации изменений внутреннего давления в трубе.

Reproduced by Normdocs under license from the American Petroleum Institute on 2021-04-26 to OOO «IT-Servis». 1-user license. No further reproduction or networking is permitted.
Воспроизведено Normdocs по лицензии от American Petroleum Institute 2021-04-26 для ООО «ИТ-Сервис». Однопользовательская лицензия. Никакое дальнейшее воспроизведение или размещение в сетевых ресурсах не разрешается.

## Дополнение J
(нормативное)

## Расчет нижней границы прогнозирования

Нижняя граница прогнозирования должна рассчитываться с использованием среднего и стандартного отклонения ранее полученного набора испытательных данных следующим образом:

Нижняя граница прогнозирования $= \bar{x} - s\left[t_{(1-\infty,n-1)}\sqrt{1+\frac{1}{n}}\right]$ (J. 1)

где

$n$ = количество ранее испытанных точек данных

$x_i$ = ранее полученные значения данных испытаний (i=1, n)

$s$ = стандартное отклонение выборки $= \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}\right)^{1/2}$

$x$ = среднее из ранее полученных значений данных испытаний

$t_{(1-\alpha,n-1)}$ = 100 (1-**α**) процентиль T-распределения Стьюдента с $n$-1 степенями свободы

Для целей настоящего стандарта должно использоваться **α** = 0,025, что приводит к 97,5% нижней границе прогнозирования.

Значения коэффициента в квадратных скобках, включающего t и n, приведены в Таблице J.1. Значение из таблицы должно использоваться при выполнении расчета в соответствии с уравнением J.1.

ПРИМЕЧАНИЕ Уравнение J.1 основано на допущении, что значения данных имеют нормальное распределение.

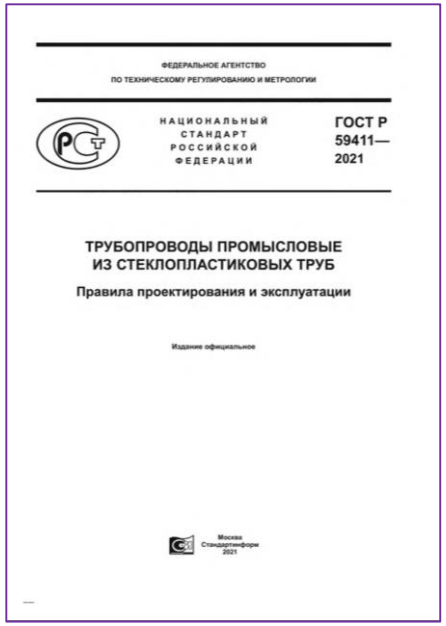
**Таблица J.1 - Табличные данные $\left[t_{(1-\infty,n-1)}\sqrt{1+\frac{1}{n}}\right]$ для различных значений $n$ при α = 0,025**

| $n$ | $\left[t_{(1-\infty,n-1)}\sqrt{1+\frac{1}{n}}\right]$ | $n$ | $\left[t_{(1-\infty,n-1)}\sqrt{1+\frac{1}{n}}\right]$ | $n$ | $\left[t_{(1-\infty,n-1)}\sqrt{1+\frac{1}{n}}\right]$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 3,041 | 26 | 2,099 | 47 | 2,034 |
| 6 | 2,777 | 27 | 2,093 | 48 | 2,033 |
| 7 | 2,616 | 28 | 2,088 | 49 | 2,031 |
| 8 | 2,508 | 29 | 2,083 | 50 | 2,030 |
| 9 | 2,431 | 30 | 2,079 | 51 | 2,028 |
| 10 | 2,373 | 31 | 2,075 | 52 | 2,027 |
| 11 | 2,327 | 32 | 2,071 | 53 | 0,025 |
| 12 | 2,291 | 33 | 2,068 | 54 | 0,024 |
| 13 | 2,261 | 34 | 2,064 | 55 | 2,023 |
| 14 | 2,236 | 35 | 2,061 | 60 | 2,018 |
| 15 | 2,215 | 36 | 2,058 | 70 | 2,009 |

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## Базовые стандарты на стеклопластиковые трубы

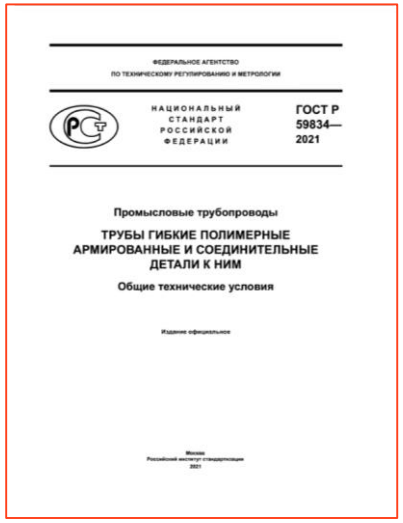

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 53201— 2008
ТРУБЫ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ И ФИТИНГИ
Технические условия
Издание официальное

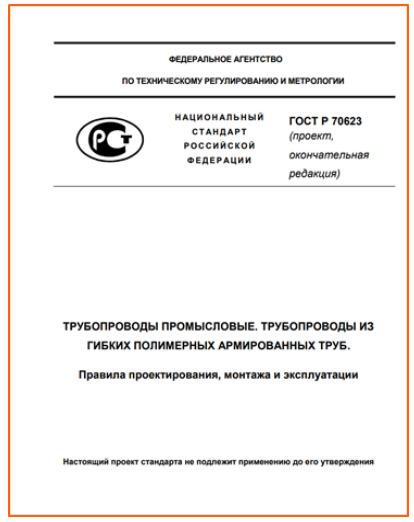

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 59411— 2021
ТРУБОПРОВОДЫ ПРОМЫСЛОВЫЕ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ
Правила проектирования и эксплуатации
Издание официальное


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р ИСО 3126— 2007
Трубопроводы из пластмасс
ПЛАСТМАССОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТРУБОПРОВОДА
Определение размеров
ISO 3126:2005
Plastics piping systems — Plastics components — Determination of dimensions
(IDT)
Издание официальное

Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 3126:2005 "Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы. Определение размеров" (ISO 3126:2005 "Plastics piping systems - Plastics components - Determination of dimensions").

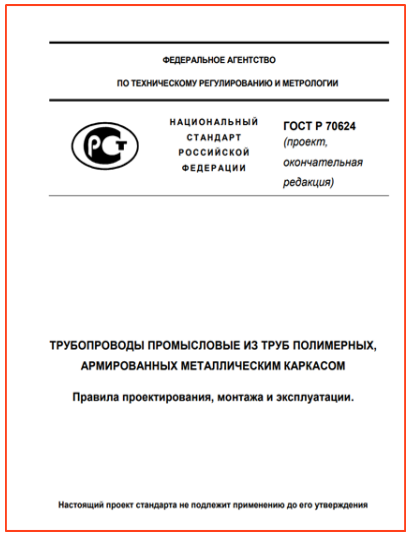
## Базовые стандарты на ГПАТ


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 59834— 2021
Промысловые трубопроводы
ТРУБЫ ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ
Общие технические условия
Издание официальное


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 70623 (проект, окончательная редакция)
ТРУБОПРОВОДЫ ПРОМЫСЛОВЫЕ. ТРУБОПРОВОДЫ ИЗ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБ.
Правила проектирования, монтажа и эксплуатации
Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

## Базовые стандарты на ЖПАТ


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 59910– 2021
ТРУБЫ ПОЛИМЕРНЫЕ, АРМИРОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ, И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ
Общие технические условия
Издание официальное
ФГБУ «РСТ» В НАБОР №2


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 70624 (проект, окончательная редакция)
ТРУБОПРОВОДЫ ПРОМЫСЛОВЫЕ ИЗ ТРУБ ПОЛИМЕРНЫХ, АРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ
Правила проектирования, монтажа и эксплуатации.
Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## Основной перечень испытаний стеклопластиковых труб

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 53201—2008

**ТРУБЫ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ И ФИТИНГИ**

**Технические условия**

**Издание официальное**

БЗ 1—2009/606

Москва
Стандартинформ
2010



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ТРУБЫ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ И ФИТИНГИ**

**Технические условия**

Glass-fibre plastic pipes and fittings. Specifications

**Дата введения — 2010—01—01**

### 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на стеклопластиковые трубы внутренним диаметром от 50 до 200 мм (далее — трубы) и фитинги к ним (далее — фитинги), предназначенные для напорных и безнапорных трубопроводов, формируемых на основе резьбовых соединений, работающих при температуре окружающей среды от минус 60 °С до плюс 60 °С и относительной влажности до 100 %.

Трубопроводы можно использовать для транспортирования нефтепродуктов и газового конденсата, растворов солей, кислот и других химических реагентов, к воздействию которых материал трубопроводов химически стоек, для сооружения лифтовых колонн, для крепления нефтяных, газовых и водозаборных скважин, для обустройства систем нефтесбора, поддержания пластового давления, а также для технического и питьевого водоснабжения.

Допустимая температура транспортируемого вещества — до плюс 110 °С, номинальное рабочее давление — от 3,5 до 27,6 МПа.

Стандарт не распространяется на трубы и фитинги с муфто-клеевыми и резьбо-клеевыми соединениями, с гибкой чекой или с буртовыми соединениями с поворотным фланцем.

### 8 Правила приемки

8.1 Трубы и фитинги принимают партиями.

Партией считают количество труб и фитингов одного внутреннего диаметра и толщины стенки, изготовленных из композиций стеклопластика одного рецептурного состава и по одной технологии, сдаваемых одновременно и сопровождаемых одним документом о качестве.

8.2 Размер партии труб должен быть не более 1500 м.

Размер партии фитингов определяется согласно условиям заказа по каждому их типу.

8.3 Документ о качестве должен содержать:

- наименование и (или) товарный знак предприятия-изготовителя;
- адрес предприятия-изготовителя;
- номер партии и дату изготовления;
- наименование и условное обозначение продукции по настоящему стандарту;
- размер партии (для труб — в метрах, для фитингов — в штуках);
- результаты испытаний или подтверждение о соответствии качества труб или фитингов требованиям настоящего стандарта;
- условия и сроки хранения.

8.4 Партия труб и фитингов должна сопровождаться контрольным образцом-эталоном, утвержденным изготовителем.

Порядок оформления и утверждения контрольного образца-эталона внешнего вида приведен в приложении В.

8.5 Для проверки соответствия труб и фитингов требованиям настоящего стандарта проводят квалификационные (при постановке на производство), приемо-сдаточные и периодические испытания.

Испытания проводят по показателям и с периодичностью, указанными в таблице 17.





Таблица 17 — Состав и периодичность испытаний

| Наименование показателя | Номер подраздела, пункта настоящего стандарта | | Периодичность контроля |
|---|---|---|---|
| | технических требований | методов контроля | |
| 1 Степень отверждения материала | 5.7.6 | 9.2 | На каждой партии |
| 2 Внешний вид труб (фитингов) и их резьбы, цвет | 5.4; 5.5; 5.6 | 9.3 | На каждой партии |
| 3 Размеры труб (фитингов) и их предельные отклонения; овальность; параметры резьбы | 4.6; 4.7; 5.2; 5.6 | 9.4 | На каждой партии |
| 4 Плотность материала | 5.7.6 | 9.15 | На каждой партии |
| 5 Сопротивление стенки трубы воздействию силы, направленной перпендикулярно к ее оси | 5.3 | 9.5 | 1 раз в год |
| 6 Предел прочности материала при растяжении в осевом (продольном) и окружном (поперечном) направлениях | 5.7.6 | 9.6 | 1 раз в месяц |
| 7 Стойкость труб и фитингов при постоянном внутреннем давлении | 5.3 | 9.7 | На каждой партии |
| 8 Стойкость соединений труб и фитингов при постоянном внутреннем давлении | 5.3 | 9.7 | 1 раз в месяц |
| 9 Герметичность при одновременном воздействии постоянного внутреннего давления и осевой нагрузки | 5.3 | 9.8 | 1 раз в месяц |
| 10 Изменение размеров труб после прогрева | 5.2.9 | 9.10 | 1 раз в 3 месяца |
| 11 Водопоглощение материала | 5.7.6 | 9.14 | 1 раз в 3 месяца |
| 12 Условная светостойкость | 5.7.6 | 9.13 | 1 раз в год |
| 13 Стойкость труб и фитингов к растрескиванию и воздействию поверхностно-активных веществ | 5.2.9 | 9.11; 9.12 | 1 раз в месяц |
| 14 Масса | 4.10; 5.2.3 | 9.9 | На каждой партии |
| 15 Маркировка, упаковка | 5.8; 5.9 | 9.17 | На каждой партии |
| 16 Гигиенические показатели (для труб и фитингов, контактирующих с питьевой водой) | 5.7.6 | 9.16 | Устанавливается по согласованию с органами Роспотребнадзора |

8.6 Квалификационные испытания труб и фитингов проводят при их постановке на производство, а также при изменении технологического процесса их изготовления или марок используемого сырья (материалов).

Квалификационные испытания проводят по всем показателям.

8.7 Для проверки качества труб от партии методом случайного отбора выбирают 5 % изделий, но не менее 5 шт.

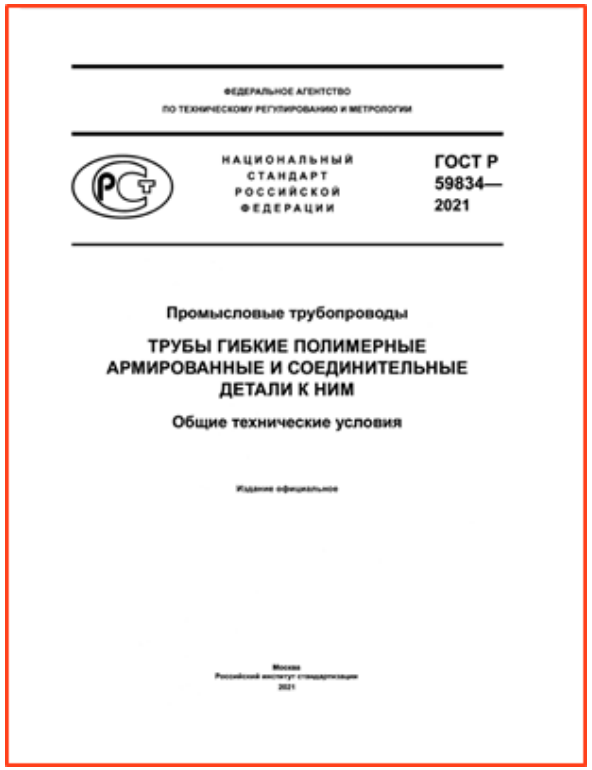
Примечания

1 Допускается формировать выборки у изготовителя равномерно в течение всего процесса производства.

2 Степень отверждения определяют на одном произвольно взятом изделии (трубе, фитинге); при этом материал для испытаний отбирают из технологического припуска трубы (фитинга).

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## Основной перечень испытаний для ГПАТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59834—2021

Промысловые трубопроводы

ТРУБЫ ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

Общие технические условия

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

ГОСТ Р 59834—2021

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Промысловые трубопроводы

ТРУБЫ ГИБКИЕ
ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

Общие технические условия

Field pipelines. Flexible reinforced plastic pipes and fittings. General specifications

Дата введения — 2022—03—01

### 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на гибкие трубы из термопластов, армированные нитями, ровингом, кордом, проволоками или лентами из металлических или неметаллических материалов (ГПАТ) номинального размера от 32 до 200 мм и соединительные детали к ним (далее — фитинги) для промысловых трубопроводов нефтяной и газовой промышленности для подземной, наземной и надземной прокладки, эксплуатируемых при максимальном рабочем давлении не выше 35 МПа и максимальной температуре транспортируемой среды не выше 95 °С.

Примечание — Настоящий стандарт распространяется на все типы промысловых трубопроводов согласно [1], пункт 73, включая технологические внутриплощадочные трубопроводы. Применение ГПАТ и фитингов в зависимости от типа и состава транспортируемой среды определяет проектировщик или потребитель.

Расчетный срок службы ГПАТ — не менее 25 лет.

Примечание — По согласованию с изготовителем, расчетный срок службы может быть снижен, если проектом предусмотрено использование ГПАТ на меньший срок в условиях интенсивного воздействия негативных факторов, например температуры, выше установленных в 6.1, циклических нагрузок, агрессивной среды и т. д.

Требования и положения настоящего стандарта могут быть применимы к ГПАТ с эксплуатационными характеристиками за пределами установленного диапазона.



Таблица 1 — Номинальные размеры и минимальный допустимый внутренний диаметр

| Номинальный размер *DN/ID* | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 90 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Средний внутренний диаметр $d_{in}$, мм, не менее | 30 | 38 | 48 | 63 | 77 | 87 | 95 | 120 | 138 | 163 | 188 |

4.3 Для соединения ГПАТ применяют следующие типы фитингов:
- с ЗН (электросварной);
- прессовый (обжимной) — фитинг с концевой металлической частью под сварку (неразъемное соединение) или под фланец (разъемное соединение) для соединения ГПАТ друг с другом, с металлическими трубами, фитингами или оборудованием посредством обжатия стенки трубы фитингом с помощью специального инструмента.

4.4 Конструкция, габаритные и установочные размеры фитингов должны быть установлены в НД и/или технической документации изготовителя.

4.5 Фитинг для ГПАТ несвязанной конструкции должен иметь систему для вентиляции газа из кольцевого или межслойного пространства ГПАТ.

4.6 Фитинг может иметь уплотнительные кольца для обеспечения герметичности соединения с ГПАТ.

### 6 Технические требования

#### 6.1 Требования к сырью и материалам

##### 6.1.1 Требования к сырью и материалам полимерных слоев

6.1.1.1 Для изготовления внутренней оболочки ГПАТ применяют следующие материалы:
- композиции ПЭВП с MRS не менее 10,0 МПа (ПЭ 100) при максимальной рабочей температуре 40 °С;
- композиции PE-RT с MRS не менее 8,0 МПа при максимальной рабочей температуре 80 °С;
- композиции PE-X с MRS не менее 8,0 МПа при максимальной рабочей температуре 95 °С следующих типов сшивки:

PE-Xa — пероксидный,
PE-Xb — силанольный.
Композиции ПЭ 100, PE-X и PE-RT должны соответствовать ГОСТ 32415.



Допускается использовать другие термопластичные материалы, например PA различных типов, PFS, PVDF, PEEK для внутренней оболочки, при условии обеспечения требований настоящего стандарта. Применение таких материалов должно быть согласовано между изготовителем и потребителем.

Материалы, применяемые для изготовления внутренней оболочки ГПАТ для 1-го и 2-го класса эксплуатации, должны быть стойкими к газовому конденсату, медленному и быстрому распространению трещин в соответствии с таблицей 2 ГОСТ Р 58121.1—2018.

Использование вторичных и переработанных материалов, а также введение добавок на стадии экструзии внутренней оболочки, за исключением концентратов красителя и светостабилизаторов, не допускается.

6.1.1.2 В качестве материала барьерного слоя применяют термопластичные материалы, которые должны быть указаны в НД и/или технической документации изготовителя. Материал барьерного слоя не должен ухудшать эксплуатационные характеристики ГПАТ; температура плавления материала должна быть выше максимальной температуры транспортируемой среды не менее чем на 20 °С при определении по ГОСТ Р 55134.

6.1.1.3 В качестве материала адгезионного слоя применяют термопластичные адгезионные композиции, которые должны быть указаны в НД и/или технической документации изготовителя. Температура плавления адгезионной композиции должна быть выше максимальной температуры транспортируемой среды не менее чем на 20 °С при определении по ГОСТ Р 55134.

6.1.1.4 В качестве материала разделительного слоя применяют термопласты в виде лент или оболочки, нанесенной методом экструзии. Материал разделительного слоя должен быть указан в НД и/или технической документации изготовителя. Температура плавления материала должна быть выше максимальной температуры транспортируемой среды не менее чем на 20 °С при определении по ГОСТ Р 55134.

6.1.1.5 Для изготовления наружной оболочки применяют композиции ПЭ 100 с MRS не менее 10 МПа, PE-RT, PE-Xb, PP-R и PP-B с MRS не менее 8,0 МПа по ГОСТ 32415.

Композиция наружной оболочки должна быть термо- и светостабилизирована для обеспечения соответствия требованиям погодостойкости по ГОСТ 58121.1.

Допускается введение концентрата красителя и концентрата стабилизатора в композиции натурального цвета для наружной оболочки.

6.1.1.6 Температура хрупкости материала внутренней и наружной оболочек, определенная по ГОСТ 16782, должна быть не выше минимальной температуры окружающей среды при эксплуатации ГПАТ, заявленной изготовителем.

6.1.1.7 Материалы, контактирующие с транспортируемой средой в процессе эксплуатации ГПАТ, должны быть к ней химически стойкими.

Примечание — Оценка соответствия материала назначению и подтверждение сохранения целостности конструкции ГПАТ при условиях эксплуатации, как правило, включает в себя испытания материала после старения под воздействием среды при максимальной температуре эксплуатации. Особое внимание следует уделять депластификации, потере и/или деструкции компонентов композиции, абсорбции среды, изменению размеров и физико-механических характеристик материала.

Информация по стойкости материалов к химическим веществам приведена в [2] (приложение 1), [3] и [4]. При отсутствии информации по стойкости материала к транспортируемой среде применение ГПАТ должно быть согласовано с потребителем.

**6.1.2 Требования к материалу армирующего слоя**

Для изготовления армирующего слоя используют нити, ровинги и ленты из ПЭТВ, ПЭВ, СВ, УВ, АВ, или корд, проволоки и ленты из Ст, в том числе интегрированных в термопластичную матрицу.

6.1.2.1 Неметаллический армирующий слой

В качестве неметаллических материалов для армирующего слоя применяют стеклянные, углеродные, арамидные, полиэтиленовые и полиэфирные волокна в виде нитей, ровинга или однонаправленных лент, в том числе интегрированных в термопластичную матрицу. Материал волокна и термопластичной матрицы, линейная плотность нити, количество кручок нити и ровинга, прочность при разрыве, ширина и толщина лент, содержание волокна в ленте должны быть указаны в НД и/или технической документации изготовителя.

6.1.2.2 Металлический армирующий слой

В качестве материалов применяют стальные ленты, проволоки или корд.

6.1.2.2.1 Катодная поляризация





Элементы армирующего слоя из металлических материалов, предназначенные для или подвергаемые электрохимической защите от коррозии (катодной защите), должны быть подвергнуты квалификационным испытаниям для подтверждения того, что применение катодной защиты при прокладке ГПАТ не приведет к водородному охрупчиванию материала армирующего слоя. Применение изделий с катодной защитой должно быть согласовано между изготовителем и потребителем.

Примечание — Испытания по стойкости металлов к водородному охрупчиванию могут быть проведены по методике, приведенной в ГОСТ Р 9.915 (метод Б) в течение не менее 150 ч на обезжиренных образцах, нагруженных до фактического предела текучести (75 ± 2) % материала и погруженных в деаэрированную морскую воду (минимум 3 масс.% NaCl) с приложенным постоянным потенциалом 1,05 В относительно насыщенного каломельного электрода. Положительным результатом испытания считают результат при отсутствии разрушения образцов, визуально наблюдаемых пузырей водорода или растрескивания образца.

6.1.2.2.2 Стойкость к водородному и сульфидному растрескиванию

Применение ГПАТ с металлическим армирующим слоем для транспортирования продуктов, содержащих сероводород и/или его соединения, должно быть согласовано между изготовителем и потребителем.

По запросу потребителя или проектировщика при транспортировании продуктов, содержащих сероводород и/или его соединения с парциальным давлением сероводорода выше 300 Па, материал армирующего слоя должен быть стойким к водородному и сульфидно-коррозионному растрескиванию. Стойкость материала должна быть подтверждена проведением соответствующих испытаний.

Примечание — Испытание на SSC и на HIC могут быть проведены согласно ГОСТ 31443—2012 (А.4.5, А.4.3 приложения А) соответственно на образцах в виде ленты, проволоки или корда, в водном растворе, насыщенным газовой смесью со значением эквивалентного парциального давления газов, равным эквивалентному парциальному давлению газов в кольцевом пространстве, определенному с учетом исходных данных о транспортируемой среде, предоставляемых потребителем или проектировщиком, и коэффициента проницаемости материалов внутреннего и/или барьерного слоев. В случае отсутствия подтвержденной модели для расчета парциальных давлений в кольцевом пространстве могут быть использованы эквивалентные парциальные давления газов транспортируемой среды. Испытуемый образец должен быть нагружен 90 %+2 % от минимального предела текучести материала армирующего слоя.

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ



Примечание — Испытание на SSC и на HIC могут быть проведены согласно ГОСТ 31443—2012 (А.4.5 и А.4.3 приложения А) соответственно на основании исходных данных о транспортируемой среде.

**6.2 Характеристики гибких полимерных армированных труб**

6.2.1 ГПАТ должны иметь гладкую внутреннюю поверхность. На внутренней, наружной и торцевой поверхностях ГПАТ не допускаются трещины, раковины, посторонние включения, видимые без применения увеличительных приборов. Наружная оболочка должна быть равномерно нанесена на поверхность ГПАТ.

На наружной и внутренней поверхностях ГПАТ допускаются следы от формующего и калибрующего инструментов и неровности, отражающие структуру армирующего слоя. На наружной оболочке ГПАТ не допускаются трещины, поры, посторонние включения.

Наружные поверхности разделительных слоев ГПАТ после наложения должны быть без поверхностных дефектов в виде задиров, порывов и повреждений, нарушающих их целостность. Разделительный слой должен быть наложен без зазоров и полностью закрывать предшествующий ему слой в конструкции ГПАТ.

Допускаются местные изменения толщины слоя, образующиеся в местах соединения элементов армирующего слоя.

Цвет слоев ГПАТ должен быть установлен в НД и/или технической документации изготовителя.

Внешний вид определяют согласно 9.2.

6.2.2 Размеры ГПАТ должны быть установлены в НД и/или технической документации изготовителя и определены по 9.3.

6.2.3 Минимальный радиус изгиба при хранении и прокладке должен быть установлен в НД и/или технической документации и не должен превышать 25-кратного значения номинального внутреннего диаметра ГПАТ.

Минимальный радиус изгиба при прокладке подтверждают согласно 9.6.

6.2.4 ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем должны быть стойкими к внутреннему давлению при испытаниях в соответствии с 9.4 при максимальной рабочей температуре, заявленной изготовителем. Значения испытательного давления для 1000 ч должны быть установлены в НД изготовителя в соответствии с приложением Б (Б.1.5).

Для ГПАТ связанной конструкции и с барьерным слоем после испытаний на стойкость к внутреннему давлению расслоение слоев не допускается.

6.2.5 Кольцевая жесткость ГПАТ, определенная по 9.8, должна быть не ниже установленной в НД и/или технической документации изготовителя.

6.2.6 Разрушающее давление ГПАТ однотипной конструкции, определяемое по 9.5, должно быть не ниже контрольного разрушающего давления $P^{контр}_{разр}$, указанного в НД изготовителя.

6.2.7 Степень сшивки слоев из PE-X в зависимости от типа сшивки, определенная по 9.7, должна быть не менее:

- PE-$X_a$ — 70 %;
- PE-$X_b$ — 65 %.

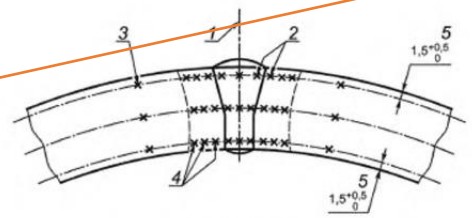
6.2.8 ГПАТ должны быть химически стойкими к транспортируемой среде с учетом 6.1.1.7. Применение ГПАТ для химически агрессивных сред должно быть согласовано между изготовителем и потребителем.

6.2.9 ГПАТ, применяемые для 1-го и 2-го класса эксплуатации, должны быть стойкими к декомпрессии при испытаниях в соответствии с приложением Г. После испытаний не должно быть потери формы трубы, расслоений, вздутий и/или разрушения наружной оболочки.

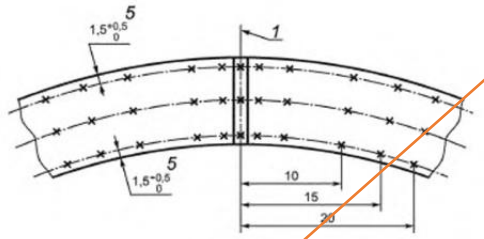
6.2.10 ГПАТ несвязанной конструкции, применяемые для 1-го и 2-го класса эксплуатации, должны иметь систему вентиляции газа из кольцевого пространства, работоспособность которой должна быть подтверждена испытаниями в соответствии с 9.10. Максимально допустимое давление газа в системе вентиляции не должно приводить к деформации внутреннего слоя ГПАТ при резком сбросе давления в трубопроводе и должно быть установлено в НД и/или технической документации изготовителя.

6.2.11 КЛТР ГПАТ, определяемый по 9.9, должен быть установлен в НД и/или технической документации изготовителя.






*б* — Труба ДСФ




*в* — Труба ВЧС

*1* — ось сварного шва; *2* — 0,75 мм от линии сплавления; *3* — 1*t* от линии сплавления; *4* — с шагом 1,0 мм в пределах видимой зоны термического влияния HAZ; *5* — от наружной и внутренней поверхностей

Рисунок А.1, лист 2

**А.7.3 Методы испытаний**

А.7.3.1 Испытание на водородное растрескивание (HIC) и ступенчатое растрескивание (SWC)

А.7.3.1.1 Испытание и оформление результатов испытаний HIC / SWC — по стандарту [29].

А.7.3.1.2 За исключением предусмотренного в А.7.3.1.3, испытание следует проводить в среде согласно требованиям стандарта [29], раствор А.

А.7.3.1.3 По согласованию, испытание проводят:

а) в альтернативной среде (см. таблицу В.3 стандарта [28]), включая раствор В по стандарту [29];

б) при парциальном давлении сероводорода $H_2S$, соответствующем намечаемой области применения;

в) по критериям приемки, равным или превышающим критерии, установленные в А.4.3.

А.7.3.1.4 В протоколе испытания должны быть указаны значения коэффициента чувствительности к растрескиванию, коэффициента длины трещин и коэффициента толщины трещин. По согласованию, к протоколу должны быть приложены снимки трещин.

А.7.3.2 Испытание на сульфидное растрескивание под напряжением (SSC)

А.7.3.2.1 За исключением предусмотренного в А.7.3.2.2, испытания следует проводить по методу А стандарта [30].

Испытанию следует подвергать образец для четырехточечного изгиба по стандарту [31] или [32], продолжительность испытания должна составлять 720 ч.

За исключением предусмотренного в А.7.3.2.2, образец следует нагружать до 0,72 от заданного минимального предела текучести трубы.

Примечание — Использование приложенного напряжения, равного 0,72-кратному заданному минимальному пределу текучести, не следует рассматривать как свидетельство того, что материал был уже предварительно аттестован для всех вариантов эксплуатации в кислых средах. Подробнее о предварительной аттестации — см. стандарт [28].

53




| | | |
|---|---|---|
| [27] | ISO 13663:1995 | Welded steel tubes for pressure purposes — Ultrasonic testing of the area adjacent to the weld seam for the detection of laminar imperfections |
| [28] | Международный стандарт ИСО 15156-2:2003[1)] (ISO 15156-2:2003) | Промышленность нефтяная и газовая. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при нефте- и газодобыче. Часть 2. Трещиностойкие углеродистые и низколегированные стали и применение литейного чугуна (Petroleum and natural gas industries — Materials for use in $H_2S$-containing environments in oil and gas production — Part 2: Cracking-resistant carbon and low alloy steels, and the use of cast irons) |
| [29] | NACE TM 0284:2003 | Standard Test Method — Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking |
| [30] | NACE TM 0177:2005 | Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in $H_2S$ Environments |
| [31] | ISO 7539-2:1989 | Corrosion of metals and alloys — Stress corrosion testing — Part 2: Preparation and use of bent-beam specimens |
| [32] | ASTM G 39 | Standard Practice for Preparation and Use of Bent-Beam Stress-Corrosion Test Specimens |
| [33] | ISO 9303:1989 | Seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for pressure purposes: full peripheral ultrasonic testing for the detection of longitudinal imperfections |
| [34] | ISO 9305:1989 | Seamless steel tubes for pressure purposes; full peripheral ultrasonic testing for the detection of transverse imperfections |
| [35] | ISO 11496:1993 | Seamless and welded steel tubes for pressure purposes; ultrasonic testing of tube ends for the detection of laminar imperfections |
| [36] | BS EN 10027-2:1992 | Designation systems for steels. Steel numbers |

### 8.2 Номенклатура показателей

8.2.1 Номенклатура показателей ГПАТ, установленных настоящим стандартом, и минимальное количество образцов для испытаний указаны в таблице 3.

Таблица 3

| Наименование показателя | Вид испытания | | | Метод испытания | Количество образцов, шт. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| *МОР*: | | | | | | | |
| для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем[1)] | + | – | – | По приложению Б (Б.1) | 18 | — | — |
| для ГПАТ с металлическим армирующим слоем | | | | По приложению Б (Б.2) | 5 | | |
| Минимальный радиус изгиба при прокладке | + | – | – | По 9.6 | 2 | — | — |
| Внешний вид, маркировка | + | + | – | По 9.2 | 3 | 3 | — |
| Размеры | + | + | – | По 9.3 | 3 | 3 | — |
| Разрушающее давление | + | + | – | По 9.5 | 5 | 2 | — |
| Стойкость к внутреннему давлению 1000 ч[2)] | + | – | + | По 9.4 | 3 | — | 1 |
| Степень сшивки[3)] | + | + | – | По 9.7 | 2 | 2 | — |
| Кольцевая жесткость | + | – | + | По 9.8 | 2 | — | 2 |
| КЛТР | + | – | + | По 9.9 | 3 | — | 3 |
| Стойкость к декомпрессии[1)] | + | – | – | По приложению Д | 1 | — | — |

Примечания
1 Символ «+» — испытание проводят; «–» — испытание не проводят.
2 Обозначения в графах «Вид испытания», «Количество образцов»:
1 — типовые испытания;
2 — приемо-сдаточные испытания;
3 — периодические испытания.
[1)] Вводится с 1 января 2025 г.
[2)] Для труб с неметаллическим армирующим слоем.
[3)] Для труб с внутренней оболочкой из PE-X.

8.2.2 Номенклатура показателей фитингов и соединений (ГПАТ и фитингов), установленных настоящим стандартом, и количество образцов указаны в таблице 4.

## 9 Методы испытаний

9.1 Испытания следует проводить не ранее чем через 16 ч после изготовления.

9.2 Внешний вид ГПАТ и фитингов проверяют визуально, без применения увеличительных пр
ров.

9.3 Размеры ГПАТ и соединительных деталей определяют по ГОСТ Р ИСО 3126 при температу
± 2) °С. Перед испытанием образцы выдерживают при указанной температуре в течение не менее 2
Средний наружный диаметр и средний внутренний диаметр определяют на расстоянии не мен
) мм от торцов образца, полученное значение округляют до 0,1 мм.
Если рельеф армирующего слоя выступает на наружной оболочке, толщину стенки $e_n$ измеряю
их торцов на пересечении поперечных армирующих элементов.

9.4 Стойкость к внутреннему давлению определяют по ГОСТ ISO 1167-1 и ГОСТ ISO 1167-2 в ср
«вода в воде» или «вода в воздухе» с концевыми заглушками типа А. При проведении испытан
пускается использовать лабораторные фитинги многократного применения.
Для ГПАТ связанной конструкции после испытания и демонтажа фитингов контролируют налич
слоений с торца испытанного образца визуально без применения увеличительных приборов.

9.5 Разрушающее давление определяют по ГОСТ 34648 при температуре (23 ± 5) °С в среде «во
оде» или «вода в воздухе». Образцы ГПАТ с заглушками типа А по ГОСТ ISO 1167-1 нагружают в
нним давлением до потери герметичности или разрушения стенки образца. При приемо-сдаточн
ытаниях допускается использовать лабораторные фитинги многократного применения.
За результат испытаний принимают среднее значение разрушающего давления $P_{разр}$ образц
которых наблюдали допустимый тип разрушения образцов в соответствии с приложением В (В.1.
нус 2,57-кратное стандартное отклонение, которое соответствует 97,5 %-ному нижнему доверите
му пределу, рассчитанное по формуле

$$P_{разр} = P_{ср} - \frac{2{,}57\sigma}{\sqrt{n}},$$

е $P_{ср}$ — среднеарифметическое значение $n$ числа определений разрушающего давления;
$\sigma$ — стандартное отклонение среднего значения определений разрушающего давления, ра
считанное по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{ср} - P_i)^2}{n-1}},$$

е $P_i$ — полученное значение разрушающего давления;
$n$ — число образцов.
Полученное значение разрушающего давления $P_{разр}$ должно быть не ниже контрольного значен
нтр
ар для данной однотипной конструкции, установленного в соответствии с приложением В (В.1.5).
9.6 Минимальный радиус изгиба при прокладке определяют на двух образцах ГПАТ минимальн
аксимального номинальных размеров из выпускаемой линейки типоразмеров длиной не менее
номинальных наружных диаметров ГПАТ для каждой однотипной конструкции. Образцы ГПАТ п





Таблица 4 — Показатели фитингов и соединений

| Наименование показателя | Вид испытания | | | Метод испытания | Количество образцов, шт | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| *МОР*[1)] | + | – | – | По приложению В (В.3) | 2 | — | — |
| Внешний вид, маркировка | + | + | – | По 9.2 | 5 | 5 | — |
| Размеры | + | + | – | По 9.3 | 3 | 3 | — |
| Стойкость к внутреннему давлению 1000 ч[1), 2)] | + | – | + | По 9.4 | 3 | — | 1 |
| Разрушающее давление | + | – | + | По 9.5 | 5 | — | 2 |
| Герметичность | + | + | – | По 9.10 | 1 | [4)] | — |
| Вентиляция газов[3)] | + | + | – | По 9.11 | 1 | [4)] | — |
| Электрические характеристики фитингов с закладными нагревателями[5)] | + | + | – | По ГОСТ Р 58121.3—2018 (5.5) | 5 | 10 % от партии | — |
| Стойкость к отрыву[5)] | + | – | + | По ГОСТ Р 58121.3—2018 (таблица 4) | 1 | — | 1 |
| Стойкость к воздействию растягивающей нагрузки[5)] | + | – | + | По ГОСТ Р 58121.3—2018 (таблица 6) | 1 | — | 1 |

Примечания
1 Символ «+» — испытание проводят; «–» — испытание не проводят.
2 Обозначения в графах «Вид испытания», «Количество образцов»:
1 — типовые испытания;
2 — приемо-сдаточные испытания;
3 — периодические испытания.
[1)] Вводится с 1 января 2025 г.
[2)] Для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем.
[3)] Для ГПАТ несвязанной конструкции.
[4)] На каждой сборке ГПАТ с фитингами.
[5)] Для фитингов с ЗН.

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ



вергают 10 циклам изгиба на оправке с минимальным радиусом, установленным в НД или технической документации изготовителя.

Для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем образцы после 10 циклов на изгиб испытывают на стойкость к внутреннему давлению по 9.4 в течение контрольного времени 1000 ч при максимальной температуре транспортируемой среды, эксплуатации и давлении, указанными в НД изготовителя. За положительный результат испытания принимают сохранение герметичности, отсутствие разрушений стенки образца и видимых повреждений внутренней и наружной оболочек ГПАТ.

Для ГПАТ с металлическим армирующим слоем образцы после 10 циклов на изгиб испытывают на разрушающее давление по 9.5. Испытания считают положительными, если наблюдали допустимый тип разрушения образцов в соответствии с приложением В (В.1.2) и полученное значение разрушающего давления не ниже значения $P^{контр}_{разр}$ для данной однотипной конструкции, установленной в НД изготовителя.

9.7 Степень сшивки материала внутренней оболочки из PE-X определяют по ГОСТ Р 59112, при этом стружку снимают с внутренней поверхности ГПАТ.

9.8 Кольцевую жесткость определяют в соответствии с ГОСТ Р 54475—2011 (пункт 8.4).

9.9 КЛТР ГПАТ определяют на трех образцах ГПАТ наименьшего и наибольшего номинальных размеров *DN* длиной не менее шести средних наружных диаметров для каждой однотипной конструкции и при разнице температур испытания не ниже 30 °С.

Перед испытаниями образцы ГПАТ кондиционируют при температуре (23 ± 2) °С по ГОСТ 12423 и измеряют длину по ГОСТ Р ИСО 3126. Затем образцы помещают в сушильный шкаф и выдерживают при заявленной изготовителем максимальной температуре транспортируемой среды* ±5 °С не менее 3 ч. После выдержки при температуре образцы извлекают из шкафа и в течение 10 мин проводят измерения длины по ГОСТ Р ИСО 3126.

Значения КЛТР α рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta L}{\Delta T} \cdot \frac{1}{L_0}, \qquad (3)$$

где $\Delta L$ — изменение длины испытуемого образца в границах интервала температур, мм;

$\Delta T$ — разница температур от температуры кондиционирования до температуры выдержки, К (°С);

$L_0$ — длина испытуемого образца при температуре 23°С, мм.

За результат принимают среднее арифметическое значение трех измерений с точностью до $10^{-7}$ знаков после запятой.

**9.10 Испытания на герметичность**

9.10.1 Испытания проводят на сборках ГПАТ с фитингами, в том числе намотанных в бухты или на барабан, для оценки герметичности соединений после монтажа фитинга.

Требования к аппаратуре для испытаний устанавливают в соответствии с ГОСТ ISO 1167-1.

9.10.2 Испытания проводят при температуре (23 ± 5) °С, если в НД или технической документации изготовителя не указано иное.

9.10.3 Образец заполняют водой до полного удаления воздуха.

9.10.4 После заполнения образец нагружают давлением со скоростью не более 1 МПа/мин до значения 1,3 *MOP* + 10 % для *MOP*, установленного в НД изготовителя.

9.10.5 После нагружения образца давлением образец выдерживают в течение 1 ч для стабилизации давления. Давление считают стабилизированным, если его падение составляет менее 5 %.

9.10.6 Измерение давления проводят манометром по ГОСТ 2405, верхний предел измерений которого превышает *MOP* не менее чем в 1,5 раза и с погрешностью не более 4 %.

9.10.7 После стабилизации давления образец выдерживают в течение не менее 2 ч, регистрируя потери герметичности.

9.10.8 После выдержки в установленное время испытательное давление сбрасывают со скоростью согласно НД и технической документации производителя.



**Приложение А**
**(справочное)**

**Коэффициенты запаса для транспортируемой среды**

При проектировании трубопровода из ГПАТ к *MOP* дополнительно должны быть применены коэффици
запаса, учитывающие условия эксплуатации, например: циклические нагрузки, транспортируемую среду, усл
прокладки, такие как климатические условия, нагрузки от грунта, пересечения преград и автомобильных д
удаленность от населенных пунктов и т. п.

Ответственность за выбор дополнительных коэффициентов запаса несет проектировщик с учетом дей
ющих НД и нормативно-правовых актов и/или требований потребителя на основе оценки условий эксплуата
характеристик конкретной конструкции ГПАТ.

Для применения коэффициентов запаса $f_{ср}$, учитывающих транспортируемую среду, значение *MOP*, опр
ленное в соответствии с приложением В, должно быть уменьшено, как показано ниже:

$$MOP = \frac{P_{LPL}}{C \cdot f_{ср}}$$ для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем

и

$$MOP = \frac{P^{контр}_{разр}}{C \cdot f_{ср}}$$ для ГПАТ с металлическим армирующим слоем.

Рекомендуемые значения $f_{ср}$ для различных транспортируемых сред в соответствии с классами экспл
ции, установленными в таблице 2, приведены ниже:

а) не менее 1 для трубопроводов, транспортирующих негорючие продукты на водной основе, токсичн
нетоксичные воды, включая пластовые и сточные воды (класс эксплуатации 3);

б) не менее 1,25 для трубопроводов, транспортирующих продукты, которые находятся в жидкой фазе,
числе стабильные конденсаты и нефть с газовым фактором до 300 м³/т при стандартных условиях (класс эк
атации 2);

с) не менее 1,5 для трубопроводов, транспортирующих продукты, которые находятся в газообразной
или представляющие собой смесь газа и жидкости при стандартных условиях (класс эксплуатации 1);



**Приложение В**
**(обязательное)**

**Определение максимального рабочего давления для гибких полимерных армированных труб**

ГПАТ с металлическим армирующим слоем не обладают четко выраженной зависимостью прочности и вяз
коупругими характеристиками в диапазоне температур эксплуатации, установленных настоящим стандартом. Для
оценки эксплуатационных характеристик таких ГПАТ традиционно используют краткосрочные прочностные харак
теристики, например испытания на разрушающее давление.

ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем, напротив, обладают четко выраженной зависимостью прочно
сти в установленном диапазоне температур. Для оценки эксплуатационных характеристик таких ГПАТ традиционно
используют результаты комплекса долгосрочных испытаний на длительную прочность.

В связи с различием в методах определения прочностных характеристик ГПАТ коэффициенты запаса проч
ности для ГПАТ с металлическим и неметаллическим армирующими слоями также различаются.

**В.1 Определение максимального рабочего давления *MOP* для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем**

**В.1.1 Общие положения**

Каждая однотипная конструкция ГПАТ должна быть классифицирована по *MOP* на основе длительной проч
ности, полученной после регрессионного анализа по ГОСТ Р 54866, результатов испытаний на стойкость к внутренн
нему давлению по ГОСТ ISO 1167-1 и ГОСТ ISO 1167-2 при температуре, равной максимальной рабочей температ
туре или выше.

Для проведения испытаний ГПАТ используют заглушки типа А, допускается применение лабораторных фи
тингов многократного применения.

**В.1.2 Допустимые и недопустимые типы разрушений**

При квалификационных испытаниях за допустимый тип разрушения принимают разрушение армирую
слоя под действием растягивающей нагрузки, приводящее к дальнейшему разрушению внутренней и/или на
ной оболочек с потерей герметичности ГПАТ. Данный тип разрушения обозначают как основный тип.

При нагружении ГПАТ внутренним давлением фитинг может ограничивать ее деформацию, что, в свою
редь, приводит к незначительному увеличению уровня локальных напряжений в армирующем слое и к разруш
ГПАТ вблизи фитинга. Такой тип разрушения допускается, если разрушение произошло вне зоны обжатия
фитингом.

Результат испытания считают отрицательным при получении любого типа разрушения, отличного от основ
- разрушение внутренней и наружной оболочек без разрушения армирующего слоя;
- разрушение, связанное с фитингом, например вырыв армирующего слоя из стенки ГПАТ, обжатой фи
гом, или срыв фитинга с тела ГПАТ;
- потеря герметичности соединения ГПАТ–фитинг (за исключением диффузии газа через полимерные
ГПАТ);
- растрескивание наружной оболочки с оголением армирующего слоя ГПАТ (при разрушении наружной
лочки на армирующий слой начинает воздействовать окружающая среда, что приводит к снижению проч
ГПАТ и, как следствие, срока службы).

**В.1.3 Определение длительного гидростатического давления $P_{LTHP}$ и нижнего доверительного предела прогнозируемого гидростатического давления $P_{LPL}$**

Зависимость длительной прочности определяют после проведения серии испытаний ГПАТ на стойко
внутреннему давлению по ГОСТ ISO 1167-1 и ГОСТ ISO 1167-2 при указанной температуре до разрушения.
получения зависимости необходимо иметь не менее 18 разрушений образцов для заданной температуры с
пределением времени в соответствии с таблицей В.1, устанавливающей минимальное число разрушений в ка
временном интервале. Время разрушения оставшихся образцов должно быть более 100 ч.

Таблица В.1

| Время до разрушения, ч | Минимальное число разрушений |
|---|---|
| Менее 100 | 2 |
| От 100 до 300 | 2 |
| От 300 до 3000 | 4 |
| От 3000 до 10 000 | 3 |
| Более 10 000 | 1 |



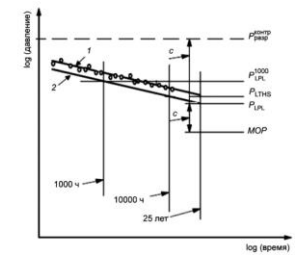
На основе полученных результатов испытаний проводят регрессионный анализ по ГОСТ Р 54866, рассчитывают коэффициенты регрессии $c_1$ и $c_2$ для 97,5 %-ного нижнего доверительного предела длительной прочности для двухпараметрической модели по уравнению

$$\lg t = c_1 + c_2 \lg P, \qquad (B.1)$$

где $t$ — время до разрушения образца, ч;

$P$ — внутреннее давление в образце ГПАТ, МПа.

Затем строят их графическое представление. Используя результаты уравнения (В.1), определяют $P_{LTHP}$ и $P_{LPL}$ экстраполяцией кривой регрессии и 97,5 %-ного нижнего доверительного предела на расчетный срок службы, как показано на рисунке В.1.




1 — кривая регрессии (основной тип разрушения); 2 — 97,5 %-ный нижний доверительный предел; $P^{контр}_{разр}$ — контрольное разрушающее давление; $P^{1000}_{LPL}$ — давление испытания на стойкость к внутреннему давлению для 1000 ч; $P_{LTHS}$ — длительное гидростатическое давление; $P_{LPL}$ — нижний доверительный предел прогнозируемого гидростатического давления; *MOP* — максимальное рабочее давление; *C* — коэффициент запаса прочности

Рисунок В.1 — График температурно-временной зависимости прочности ГПАТ

Образцы, не имеющие разрушений на низком уровне внутреннего давления, могут быть использованы в регрессионном анализе при условии, что они не приводят к снижению значения прогнозируемого гидростатического давления $P_{LPL}$. Значение прогнозируемого гидростатического давления $P_{LPL}$ должно быть рассчитано с и без учета неразрушенных образцов для оценки их влияния.

В.1.4 *MOP* для однотипной конструкции ГПАТ рассчитывают по формуле

$$MOP = \frac{P_{LPL}}{C}, \qquad (B.2)$$

где $P_{LPL}$ — значение нижнего доверительного предела прогнозируемого гидростатического давления, экстраполированное на расчетный срок службы, МПа;

$C$ — коэффициент запаса прочности, равный 1,5.





Полученное значение *MOP* округляют до меньшего целого значения и устанавливают из нормированного ряда R5 или R10 по ГОСТ 8032.

В зависимости от транспортируемой среды в соответствии с классами эксплуатации по таблице 2 для *MOP* следует принимать дополнительный коэффициент запаса для среды $f_{ср}$ с учетом данных приложения А.

В.1.5 После определения *MOP* для каждой однотипной конструкции в НД изготовителя устанавливают значения внутреннего давления для контрольного времени 1000 ч на основании полученного $P_{LPL}$.

В.1.6 Контрольное разрушающего давления $P^{контр}_{разр}$ определяют при проведении испытаний в соответствии с 9.5 на не менее чем пяти образцах типоразмера, который испытан при квалификационных испытаниях. При этом при вычислении среднего значения учитывают только те результаты испытаний, при которых наблюдали допустимый тип разрушения образца в соответствии с В.1.2. Значение $P^{контр}_{разр}$ устанавливают в НД изготовителя.

В.1.7 В случае отсутствия данных по зависимости длительной прочности ГПАТ и значений $P_{LPL}$ допускается рассчитывать *MOP* для ГПАТ с неметаллическим армирующим слоем в соответствии с В.1.

В.1.8 В случае изменения толщин оболочек армирующего слоя или введения барьерного слоя в конструкцию ГПАТ, для которой проведены квалификационные испытания, без изменения ее общих размеров, допускается проводить расчет *MOP* для измененной конструкции в соответствии с приложением Г.

В.1.9 Если значение $T_{макс}$ ниже температуры, при которой проводили квалификационные испытания, допускается проводить расчет *MOP* для $T_{макс}$ в соответствии с приложением Е.

В.1.10 В зависимости от транспортируемой среды в соответствии с классами эксплуатации по таблице 2 для *MOP* следует принимать дополнительный коэффициент запаса для среды $f_{ср}$ с учетом приложения А.

**В.2 Определение максимального рабочего давления *MOP* для ГПАТ с металлическим армирующим слоем**

В.2.1 *MOP* для однотипной конструкции ГПАТ с металлическим армирующим слоем рассчитывают по формуле

$$MOP = \frac{P^{контр}_{разр}}{C}, \qquad (B.3)$$

где $P^{контр}_{разр}$ — контрольное разрушающего давления для ГПАТ однотипной конструкции, установленное в соответствии с В.1.6, МПа.

$C$ — коэффициент запаса прочности, равный 2.

В.2.2 Полученное значение *MOP* округляют до меньшего целого значения и устанавливают из нормированного ряда R5 или R10 по ГОСТ 8032.

В.2.3 В зависимости от транспортируемой среды в соответствии с классами эксплуатации по таблице 2 для *MOP* следует принимать дополнительный коэффициент запаса для среды $f_{ср}$ с учетом приложения А.

В.3 Для подтверждения отсутствия типов разрушений ГПАТ, отличных от основного, которые могут проявиться за пределами времен испытаний по определению длительной прочности ГПАТ или при испытаниях на разрушающее давление, проводят испытания ГПАТ и фитингов при повышенных температурах на ускоренное старение.

Как минимум два образца ГПАТ классификационного типоразмера для данной однотипной конструкции с комплектом монтажных фитингов испытывают по ГОСТ ISO 1167-1 и ГОСТ ISO 1167-2 при постоянном внутреннем давлении, равном *MOP*, и при температуре выше $T_{макс}$ в среде «вода в воде» или «вода в воздухе».

Контрольное время ускоренных испытаний $t_{исп}$, ч, определяют расчетным сроком службы ГПАТ $t_{сл}$, и коэффициентами экстраполяции $K_e$, установленными в ГОСТ Р 54866—2011 (таблица 1) в зависимости от разницы $\Delta T$ между температурой испытания $T_{исп}$ и $T_{макс}$ по формуле

$$t_{исп} = t_{сл} / K_e. \qquad (B.4)$$

В таблице В.2 приведены типовые контрольные времена ускоренных испытаний ГПАТ и фитингов с расчетным сроком службы 25 лет для различных значений $\Delta T$.

Таблица В.2

| $\Delta T$, °С | Коэффициент экстраполяции $K_e$ | Время испытания $t_{исп}$, ч |
|---|---|---|
| 25 | 12 | 18 200 |
| 30 | 18 | 12 100 |
| 35 | 30 | 7300 |
| 40 | 50 | 4400 |





В случае разрушения образцов ГПАТ по основному типу проводят повторные испытания при более низкой температуре $T_{исп}$ и соответствующем ей времени испытаний $t_{исп}$.

По достижении контрольного времени с образцов ГПАТ снимают давление и кондиционируют на воздухе при температуре (23 ± 2) °С по ГОСТ 12423 в течение 24 ч. После кондиционирования проводят визуальную оценку образцов на наличие растрескиваний наружной оболочки. Затем образцы нагружают давлением (1 ± 0,05) МПа [(10 ± 0,5) бар] и выдерживают в течение 24 ч при температуре (23 ± 2) °С, при этом потери герметичности соединения не допускается.

Отсутствие потери герметичности, характеризуемой падением давления более чем на 4 % от заданного значения, и растрескиваний наружной оболочки при испытании свидетельствует о работоспособности ГПАТ и соединений на протяжении расчетного срока службы.

# РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## Основной перечень испытаний для ЖПАТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59910–2021

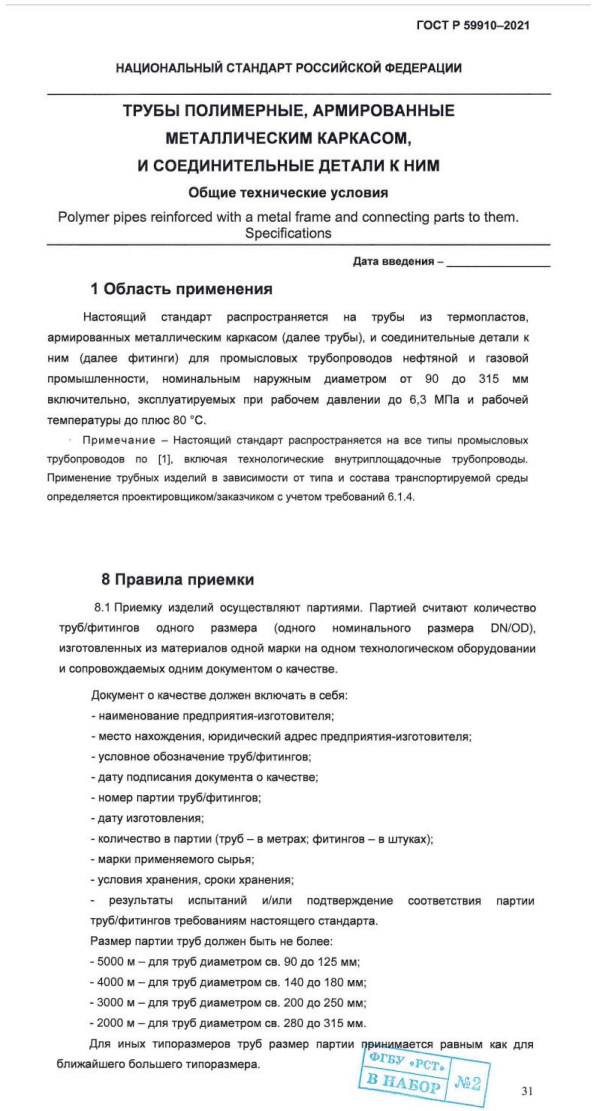
ТРУБЫ ПОЛИМЕРНЫЕ, АРМИРОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ, И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

Общие технические условия

Издание официальное

ФГБУ «РСТ» В НАБОР №2

Москва
Российский институт стандартизации
2021



ГОСТ Р 59910–2021

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТРУБЫ ПОЛИМЕРНЫЕ, АРМИРОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ, И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

Общие технические условия

Polymer pipes reinforced with a metal frame and connecting parts to them. Specifications

Дата введения – _____

### 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубы из термопластов, армированных металлическим каркасом (далее трубы), и соединительные детали к ним (далее фитинги) для промысловых трубопроводов нефтяной и газовой промышленности, номинальным наружным диаметром от 90 до 315 мм включительно, эксплуатируемых при рабочем давлении до 6,3 МПа и рабочей температуры до плюс 80 °С.

Примечание – Настоящий стандарт распространяется на все типы промысловых трубопроводов по [1], включая технологические внутриплощадочные трубопроводы. Применение трубных изделий в зависимости от типа и состава транспортируемой среды определяется проектировщиком/заказчиком с учетом требований 6.1.4.

### 8 Правила приемки

8.1 Приемку изделий осуществляют партиями. Партией считают количество труб/фитингов одного размера (одного номинального размера DN/OD), изготовленных из материалов одной марки на одном технологическом оборудовании и сопровождаемых одним документом о качестве.

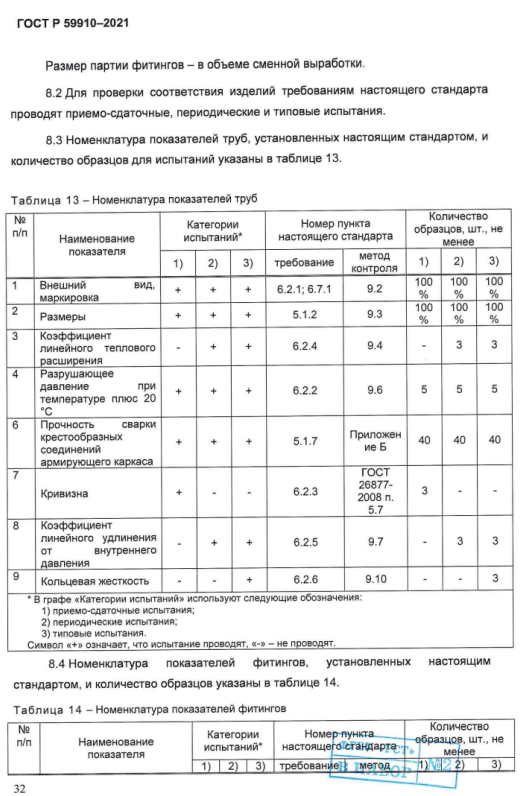
Документ о качестве должен включать в себя:
- наименование предприятия-изготовителя;
- место нахождения, юридический адрес предприятия-изготовителя;
- условное обозначение труб/фитингов;
- дату подписания документа о качестве;
- номер партии труб/фитингов;
- дату изготовления;
- количество в партии (труб – в метрах; фитингов – в штуках);
- марки применяемого сырья;
- условия хранения, сроки хранения;
- результаты испытаний и/или подтверждение соответствия партии труб/фитингов требованиям настоящего стандарта.

Размер партии труб должен быть не более:
- 5000 м – для труб диаметром св. 90 до 125 мм;
- 4000 м – для труб диаметром св. 140 до 180 мм;
- 3000 м – для труб диаметром св. 200 до 250 мм;
- 2000 м – для труб диаметром св. 280 до 315 мм.

Для иных типоразмеров труб размер партии принимается равным как для ближайшего большего типоразмера.

ФГБУ «РСТ» В НАБОР №2

31



ГОСТ Р 59910–2021

Размер партии фитингов – в объеме сменной выработки.

8.2 Для проверки соответствия изделий требованиям настоящего стандарта проводят приемо-сдаточные, периодические и типовые испытания.

8.3 Номенклатура показателей труб, установленных настоящим стандартом, и количество образцов для испытаний указаны в таблице 13.

Таблица 13 – Номенклатура показателей труб

| № п/п | Наименование показателя | Категории испытаний* | | | Номер пункта настоящего стандарта | | Количество образцов, шт., не менее | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1) | 2) | 3) | требование | метод контроля | 1) | 2) | 3) |
| 1 | Внешний вид, маркировка | + | + | + | 6.2.1; 6.7.1 | 9.2 | 100 % | 100 % | 100 % |
| 2 | Размеры | + | + | + | 5.1.2 | 9.3 | 100 % | 100 % | 100 % |
| 3 | Коэффициент линейного теплового расширения | - | + | + | 6.2.4 | 9.4 | - | 3 | 3 |
| 4 | Разрушающее давление при температуре плюс 20 °С | + | + | + | 6.2.2 | 9.6 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | Прочность сварки крестообразных соединений армирующего каркаса | + | + | + | 5.1.7 | Приложение Б | 40 | 40 | 40 |
| 7 | Кривизна | + | - | - | 6.2.3 | ГОСТ 26877-2008 п. 5.7 | 3 | - | - |
| 8 | Коэффициент линейного удлинения от внутреннего давления | - | + | + | 6.2.5 | 9.7 | - | 3 | 3 |
| 9 | Кольцевая жесткость | - | - | + | 6.2.6 | 9.10 | - | - | 3 |

* В графе «Категории испытаний» используют следующие обозначения:
1) приемо-сдаточные испытания;
2) периодические испытания;
3) типовые испытания.
Символ «+» означает, что испытание проводят, «-» – не проводят.

8.4 Номенклатура показателей фитингов, установленных настоящим стандартом, и количество образцов указаны в таблице 14.

Таблица 14 – Номенклатура показателей фитингов

| № п/п | Наименование показателя | Категории испытаний* | | | Номер пункта настоящего стандарта | | Количество образцов, шт., не менее | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1) | 2) | 3) | требование | метод | 1) | 2) | 3) |

32

ГОСТ Р 59910–2021

| | | | | | | контроля | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Внешний вид, маркировка | + | + | + | 6.3.1; 6.7.2 | 9.2 | 100 % | 100 % | 100 % |
| 2 | Размеры | + | + | + | 5.1.2 | 9.3 | 100 % | 100 % | 100 % |
| 3 | Испытание на герметичность давлением 1, $5P_{раб}$, при температуре плюс 20 °С | + | + | + | 6.3.2 | 9.5 | 100 % | 100 % | 100 % |
| 4 | Разрушающее давление при температуре плюс 20 °С | +[1] | + | + | 6.3.2 | 9.6 | 5 | 5 | 5 |
| 5 | Стойкость к внутреннему давлению[2] | - | + | + | 6.3.3 | 9.8 | - | 3 | 3 |

* В графе «Категории испытаний» используют следующие обозначения:
1) приемо-сдаточные испытания;
2) периодические испытания;
3) типовые испытания.
Символ «+» означает, что испытание проводят, «-» – не проводят. Испытание не проводят для фитингов, изготовленных из труб, прошедших приемо-сдаточные испытания. Испытания проводят только для сварных фитингов, изготовленных из труб.

8.5 Номенклатура показателей соединений, установленных настоящим стандартом, и количество образцов указаны в таблице 15.

Таблица 15 – Показатели соединений

| № п/п | Наименование показателя | Категории испытаний* | | Номер пункта настоящего стандарта | | Количество образцов, шт., не менее | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1) | 2) | требование | метод контроля | 1) | 2) |
| 1 | Испытание на герметичность давлением 1,$5P_{раб}$, при температуре 20 °С | + | + | 6.4.1 | 9.5 | 3 | 3 |
| 2 | Стойкость к внутреннему давлению | + | + | 6.4.1 | 9.8 | 3 | 3 |
| 3 | Стойкость к растягивающей нагрузке | - | + | 6.4.1 | 9.9 | 3 | 3 |

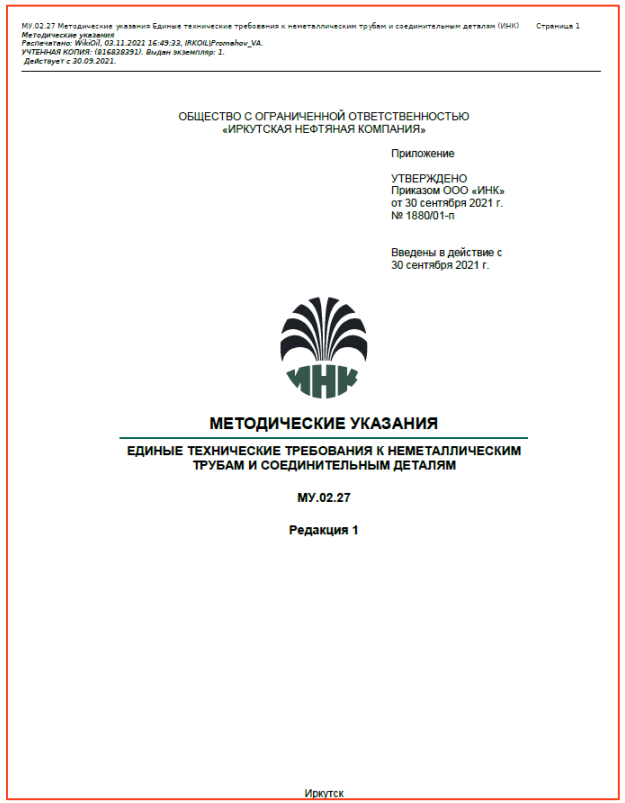
* В графе «Категории испытаний» используют следующие обозначения:
1) периодические испытания;
2) типовые испытания.
Символ «+» означает, что испытание проводят, «-» – не проводят.

ФГБУ «РСТ» В НАБОР №2

33

# ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛНД ДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## Утвержденные норматив разработанный специалистами ООО ИТ-Сервис



МУ.02.27 Методические указания Единые технические требования к неметаллическим трубам и соединительным деталям (ИНК) Страница 1
*Методические указания*
*Распечатано: WikiOil, 03.11.2021 16:49:33, IRKOILPromahov_VA.*
*УНТРНАЯ КОПИЯ: (8166838297). Выдан экземпляр: 1.*
*Действует с 30.09.2021.*

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ИРКУТСКАЯ НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ»

Приложение

УТВЕРЖДЕНО
Приказом ООО «ИНК»
от 30 сентября 2021 г.
№ 1880/01-п

Введены в действие с
30 сентября 2021 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**ЕДИНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТРУБАМ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫМ ДЕТАЛЯМ**

**МУ.02.27**

**Редакция 1**

Иркутск

Таблицы 1 МУ 01.27.

2.5 Для ранжирования ГПАТ и ПАТ по области применения и условиям эксплуатации, в настоящем документе установлено 4 уровня требований, первый из которых имеет 2 подгруппы на высокое и низкое давление:

**Уровень 1 – не агрессивные среды:**

Группа 1.1 – ПАТ для строительства трубопроводов с давлением до 10 МПа транспортирующих среды, не имеющие коррозионноактивных компонентов.

Группа 1.2 – ГПАТ для строительства трубопроводов с давлением от 10 МПа до 25 МПа транспортирующих среды, не имеющие коррозионноактивных компонентов.

**Уровень 2 – среда содержит коррозионноактивный компонент $H_2S$.**

Группа 2 - ГПАТ для строительства трубопроводов с давлением до 25 МПа транспортирующих среды, содержащие $H_2S$ с парциальным давлением более 0,3 кПа.

**Уровень 3 – среда содержит коррозионноактивный компонент $CO_2$.**

Группа 3 - ГПАТ для строительства трубопроводов с давлением до 25 МПа транспортирующих среды, содержащие $CO_2$ с парциальным давлением более 5 кПа.

**Уровень 4 – среда содержит несколько коррозионноактивных компонентов.**

Группа 4 - ГПАТ для строительства трубопроводов с давлением до 25 МПа транспортирующих среды, содержащие $H_2S$ с парциальным давлением более 0,3 кПа, и $CO_2$ с парциальным давлением более 5 кПа.

2.6 В зависимости от назначения трубопровода, его рабочего давления и необходимого типоразмера, а также наличия (отсутствия) коррозионных факторов и климатических условий эксплуатации, необходимо выбирать соответствующую группу, классифицирующую трубы по уровням требований согласно Таблицы 1 и Рисунка 1.

Таблица 1



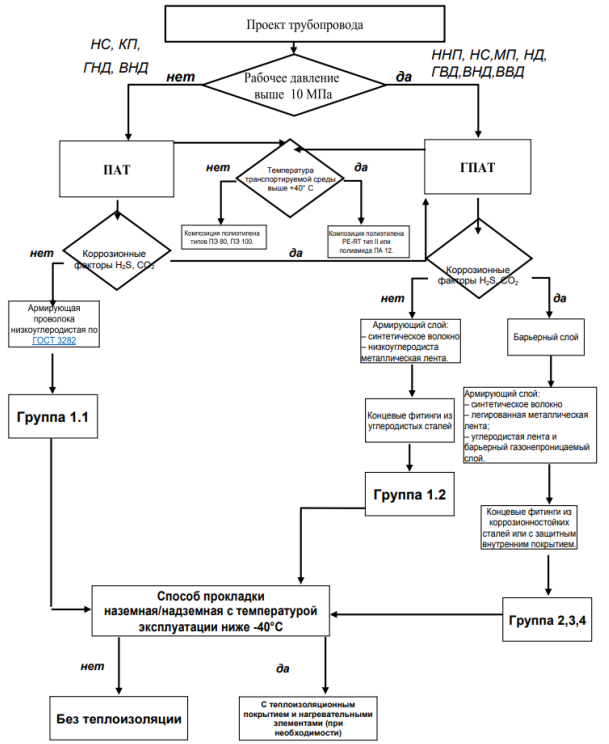



Рисунок 1. Алгоритм выбора конструкции трубопровода из полимерного материала.

# ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛНД ДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

## 5 Требования к готовым изделиям ПАТ и ГПАТ

### 5.1 Общие положения

5.1.1 Для обеспечения гарантийной эксплуатации ПАТ и ГПАТ в заданных условиях согласно классификации, приведенной в Таблице 1, выполняется расчет на прочность для определения максимального рабочего давления (МОР).

5.1.2 Показатель МОР для ПАТ может быть определен по ГОСТ Р 58121.2-2018.

5.1.3 Исходя из расчетного МОР, определяется номинальное рабочее давление трубопровода Рраб.

5.1.4 Минимальный радиус изгиба при прокладке должен быть установлен в нормативной и/или технической документации и не должен быть менее 20-кратного значения номинального наружного диаметра ГПАТ или защитной оболочки.

5.1.5 Соединение ГПАТ и фитингов в сборе должны сохранять герметичность при заданном испытательном давлении равном Рисп= 1,3 Рраб на протяжении 24 часов. Испытания проводятся в соответствии с методикой по п. 6.4 настоящего стандарта.

5.1.6 ГПАТ предназначенные для транспортировки газа на трубопроводах всех уровней требований, в том числе и нефтесборах с газовым фактором более 300 м³/т, должны быть стойкими к декомпрессии при испытаниях в соответствии с Приложением 14. Результат испытаний считается положительным если образец после испытаний не потерял форму, отсутствуют расслоение, вздутия и/или разрушения наружного слоя.

5.1.7 Наружная оболочка ГПАТ должна быть стойкой к УФ – излучению и прочим атмосферным воздействиям.

5.1.8 Для ГПАТ, поставляемых с теплоизоляционным слоем. Производитель должен представить расчётные значения тепловых потерь, округлённые до 0,1 Вт/м, в соответствии с СП 61.13330.2012.

5.1.8.1 Кольцевая жесткость ГПАТ с теплоизоляционным слоем в защитной оболочке, определенная по ГОСТ Р 56730-2015 п. 8.7, должна быть не менее 4 кН/м².





5.1.8.2 Водопоглощение материала теплоизоляционного слоя должно быть не более 10 % при температуре 100 °С и не более 1 % при температуре 80 °С по ГОСТ Р 56730-2015 п.8.8.

5.1.8.3 Ползучесть при сжатии материала теплоизоляционного слоя должна быть не более 10 %, определенная по ГОСТ Р 56730-2015.

5.1.8.4 Теплопроводность материала теплоизоляционного слоя при температуре 50°С, определенная в соответствии с п. 7.15 настоящего стандарта, должна быть установлена нормативной и/или технической документацией изготовителя.

5.1.9 **Производитель полимерных труб должен подтвердить заявленные параметры эксплуатации ПАТ или ГПАТ путем проведения типовых испытаний.**

5.1.10 Трубы ПАТ применяемые **только для эксплуатации на трубопроводах группы 1.1** не подвергаются типовым испытаниям, приведенным в настоящем стандарте, а могут быть испытаны в соответствии с ГОСТ Р 58121.2-2018 либо ТУ производителя предварительно согласованного с Заказчиком.

5.1.11 Объектами исследований при проведении типовых испытаний являются:

- образцы внутренних и внешних полимерных слоев (форма и размеры - в соответствии с ГОСТ 11262, п.6) трубы;
- образцы материала армирующего слоя трубы;
- образцы изделия с реальными конструктивными размерами и функционалом.

5.1.12 В результате типовых испытаний устанавливается степень влияния транспортируемой среды на изменение механических свойств материалов, входящих в состав конструкции трубы и определяется возможность эксплуатации конкретной конструкции ГПАТ в заданных условиях.

5.1.13 Трубы ГПАТ должны быть испытаны в соответствии с перечнем, приведенным в Таблице 13, модельные среды для выполнения типовых испытаний - Таблица 15. Необходимый набор испытаний определяется Программой испытаний исходя из типа конструкции ГПАТ и заданного уровня требований.

Таблица 13

Перечень типовых испытаний ГПАТ

| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Внутренний слой | Испытания на растяжение образцов внутреннего полимерного слоя в исходном состоянии при комнатной температуре. | Установление базового значения прочности материала в исходном состоянии. | ГОСТ 11262-2017 | Не менее значения указанного в таблице 6, либо по сертификату на исходный материал. |





| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| 2. | | Испытание материала внутреннего полимерного слоя на стойкость к воздействию модели транспортируемой среды (изменение массы – набухание/растворение) при максимальной температуре эксплуатации. Время выдержки не менее 480 часов. | Определение стойкости полимера к воздействию транспортируемой среды. | ГОСТ 12020-2018 | Показатель стойкости «Хорошая» по Таблице 2 ГОСТ 12020-2018 |
| 3. | | Испытания на растяжение образцов внутреннего полимерного слоя после выдержки образцов в модели транспортируемой среды. | Определение процента изменения механических свойств по отношению к исходному состоянию | ГОСТ 11262-2017 и ГОСТ 12020-2018 | Изменение не более 10% от исходного. |
| 4. | | Испытание на газопроницаемость $CO_2$ внутреннего полимерного слоя.1 | Определение стойкости внутреннего слоя к проникновению $CO_2$ | ISO 2556-2001 (ГОСТ 23553-79) | |
| 5. | | Износостойкость внутреннего полимерного слоя | Определение степени стойкости внутреннего слоя к абразивному износу. | ГОСТ 11012 - 2017 | Не менее 0,7 мм³/м, либо по сертификату на исходный материал |
| 6. | Армирующий слой² | Испытание на растяжение армирующего слоя из полимерных | Установление базового значения прочности материала | ГОСТ ISO 2062-2014 | Не менее значения указанного в таблице 7, 8, либо по |





| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ым воздействием. | | |
| 12. | | Испытание наружного полимерного слоя на удар при пониженной температуре.3 | Подтверждение заявленной минимальной температуры окружающей среды при эксплуатации трубы. | ГОСТ 4647-2015 или ГОСТ 19109-2017 | Вязкий излом на образцах с надрезом, изгиб без разрушения на образцах, без надреза. |
| 13. | Полноразмерный образец | Испытания внутренним давлением на прочность и герметичность соединений при нормальных условиях. | Определение герметичности и прочности конструкции на протяжении 24 часов, воздействии испытательного давления равного 1,3 Рраб4 | Методика испытаний п. 8.4 | В процессе выдержки - герметичность узла, отсутствие падения давления по манометру. |
| 14. | | Испытания внутренним давлением до разрушения при нормальных условиях | Определение предельного давления, при котором происходит разрушение трубы. | Методика испытаний п. 8.5 | Не менее расчетного значения, указанного в НТД, определенного при разработке конструкции. |
| 15. | | Испытания внутренним давлением до разрушения после выдержки образца в модели | Определение изменения механических свойств по | Методика испытаний п. 8.5 и ГОСТ | Изменение не более 10% |





| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| 21. | | Теплопроводность материала теплоизоляционного слоя | | | П. 6.1.8.4 |

1 - результаты испытания являются факультативными до набора статистики, в протоколе фиксируются среднее значение по результатам испытаний 5-ти образцов.
2 - испытания по п. 6, 9, 10 выполняются только для ГПАТ армированной не металлическими материалами. Испытания по п. 7,8 выполняются только для ГПАТ армированными металлическими материалами.
3 – испытания проводятся только для ГПАТ поставляемой без теплоизоляции.
4 – по требованию Заказчика давление испытаний может быть увеличено до 1,5 Рраб.



| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| 7. | | материалов в исходном состоянии. | в исходном состоянии. | | сертификату на исходный материал. |
| | | Испытание на стойкость армирующего металлического слоя к воздействию модели транспортируемой при максимальной температуре эксплуатации. | Определение стойкости к воздействию транспортируемой среды. | NACE TM0177 | Продолжительность испытания должна составлять не менее 720 часов без разрушения образца; образцы должны быть нагружены до 90 % SMYS |
| 8. | | | | NACE TM0284 | a) CLR < 15 %<br>b) CTR < 3 %<br>c) CSR < 1,5 % |
| 9. | | Испытание на стойкость армирующего полимерного слоя к воздействию модели транспортируемой среды (изменение массы) при максимальной температуре эксплуатации. Время выдержки не менее 240 часов. | Определение стойкости полимера к воздействию транспортируемой среды. | ГОСТ 12020-2018 | Показатель стойкости «Хорошая» по Таблице 2 ГОСТ 12020-2018 |
| 10. | | Испытание на растяжение армирующего слоя из полимерных материалов после выдержки образцов в модели транспортируемой среды | Определение процента изменения механических свойств по отношению к исходному состоянию. | ГОСТ ISO 2062-2014 и ГОСТ 12020-2018 | Изменение не более 10% от исходного. |
| 11. | Наружный слой | Атмосферостойкость наружного полимерного слоя | Определение стойкости наружной оболочки к атмосферн | ГОСТ 9.708 (метод 2) | ГОСТ 9.708 |





| п/н | Объект испытаний | Вид испытаний | Цель испытания | НТД | Показатель |
|---|---|---|---|---|---|
| | | транспортируемой среды в течение не менее 480 часов при максимальной температуре эксплуатации. | отношению к исходному состоянию. | 12020-2018 | |
| 16. | | Циклические испытания на изгиб. | Подтверждение возможности и повторного сматывания /размотывания ГПАТ при соблюдении и минимального радиуса изгиба. | Методика испытаний п. 8.6 | 10 циклов изгиба при 1000 ч без разрушения при испытательном давлении равном 1,3 Рраб.. |
| 17. | | Стойкость к декомпрессии (для газопроводов и нефтесборов) | Определение способности и конструкции противостоять быстрому сбросу давления при эксплуатации без повреждения лайнера. | Приложение 14 | После испытаний не должно быть потери формы трубы, расслоений, вздутий и/или разрушения наружного слоя. |
| 18. | Теплоизоляционный слой | Кольцевая жесткость труб с теплоизоляционным слоем | Определения качественных характеристик теплоизоляции | ГОСТ Р 58730-2015 | П. 6.1.8.1 |
| 19. | | Водопоглощение теплоизоляционного слоя | | | П. 6.1.8.2 |
| 20. | | Ползучесть при сжатии теплоизоляционного слоя | | | П. 6.1.8.3 |



6.1.14 Для выполнения лабораторных испытаний в зависимости от указанного типа транспортируемой среды и уровня требований, необходимо использовать модельные испытательные среды, указанные в Таблице 15.

6.1.15 Объем и количество образцов для выполнения типовых испытаний представлены в Таблице 16.

Таблица 15

Модельные среды для типовых и периодических испытаний

| п/н | Вид испытания | тип транспортируемой среды | Уровень требований: группа 1.1 / группа 1.2 | группа 2 | группа 3 | группа 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вид модельной испытательной среды | | | |
| 1. | Испытание на газопроницаемость $CO_2$ внутреннего полимерного слоя, при рабочем давлении. | газ | Газовая фаза: Парциальное давление $pCO_2$ в модельной среде не менее 0,03 МПа, остаток по объему N2. | | | |
| 2. | Стойкость к декомпрессии | | | | | |
| 3. | Испытание на стойкость внутреннего / армирующего полимерного слоя к воздействию транспортируемой среды (изменение массы) при максимальной температуре эксплуатации и атмосферном давлении. | нефть | Жидкая фаза*: Имитатор нефтепродуктов состоящий из 50% орто ксилола и 50% толуола | Жидкая фаза: Имитатор нефтепродуктов, состоящий из 50% ортоксилола и 50% толуола. Газовая фаза: концентрация $H_2S$ в модельной среде не менее 11 мг/л. | Жидкая фаза: Имитатор нефтепродуктов, состоящий из 50% ортоксилола и 50% толуола. Газовая фаза: концентрация $CO_2$ в модельной среде не менее 89 мг/л. | Жидкая фаза: Имитатор нефтепродуктов, состоящий из 50% ортоксилола и 50% толуола. Газовая фаза: концентрация $CO_2$ в модельной среде не менее 89 мг/л и концентрация $H_2S$ в модельной среде не |
| 4. | Испытания внутренним давлением до разрушения после выдержки | | | | | |





| п/н | Вид испытания | тип транспортируемой среды | Уровень требований: группа 1.1 / группа 1.2 | группа 2 | группа 3 | группа 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вид модельной испытательной среды | | | |
| 5. | образца в транспортируемой среде в течение не менее 480 часов при максимальной температуре эксплуатации. | вода | Жидкая фаза: Вода дистиллированная | Жидкая фаза: Вода дистиллированная. Газовая фаза: концентрация $H_2S$ в модельной среде не менее 11 мг/л. | Жидкая фаза: Вода дистиллированная. Газовая фаза: концентрация $CO_2$ в модельной среде не менее 89 мг/л. | менее 11 мг/л.<br>Жидкая фаза: Вода дистиллированная. Газовая фаза: концентрация $CO_2$ в модельной среде не менее 89 мг/л и концентрация $H_2S$ в модельной среде не менее 11 мг/л. |
| | Испытание на стойкость внутреннего /армирующего полимерного слоя к воздействию транспортируемой среды (изменение массы) при максимальной температуре эксплуатации. | | | | | |
| 6. | Испытания внутренним давлением до разрушения образца в транспортируемой среде в течение не менее 480 часов при максимальной температуре эксплуатации. | | | | | |

*Примечание:
1. При испытаниях, имитирующих эксплуатацию напорных нефтепроводов: жидкая фаза модельной среды разбавляется дистиллированной водой в отношении 99,7% / 0,3% соответственно.



6.1.6 Для определения соответствия продукции требованиям Раздела 5, проводят приемо-сдаточные и периодические испытания. Отбор проб от партии проводят методом случайной выборки, нормы отбора и объем испытаний указаны в Таблице 14.

Таблица 14

Перечень приемо-сдаточных и периодических испытаний

| Наименование показателя | Категория испытаний | Частота контроля | Объем выборки от партии | Методы контроля |
|---|---|---|---|---|
| Внешний вид | приемо-сдаточные | на каждой партии | 100% | п.7.2 |
| Геометрические размеры | | на каждой партии | 100% | п.7.3 |
| Испытания внутренним давлением трубы на прочность и герметичность соединений при нормальных условиях | | на каждой партии | 100% | п.7.4 |
| Испытание вентиляции газа (при наличии системы вентиляции) | | на каждой партии | 100% | п.7.16 |



вность за актуализацию распечатанного документа несет лицо, распечатавшее документ.



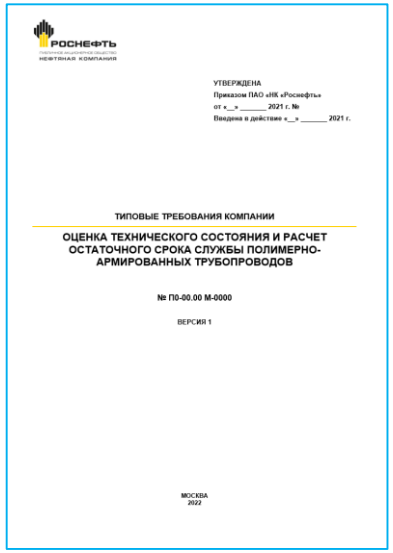


| Наименование показателя | Категория испытаний | Частота контроля | Объем выборки от партии | Методы контроля |
|---|---|---|---|---|
| Испытание неразрывности электрической цепи (греющий кабель при наличии) | периодические | на каждой партии | 100% | п.7.17 |
| Испытания внутренним давлением до разрушения после выдержки образца в модели транспортируемой среды в течение не менее 480 часов при максимальной температуре эксплуатации. | | 1 раз в 24 месяца | Не менее 5 образцов | п.7.5 |
| Циклические испытания на изгиб. | | 1 раз в 24 месяца | Не менее 2 образцов | п.7.6 |

ООО «ИНК»

| п/н | Вид испытания | тип транспортируемой среды | Уровень требований: группа 1.1 / группа 1.2 | группа 2 | группа 3 | группа 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Вид модельной испытательной среды | | | |
| 2. При испытаниях, имитирующих эксплуатацию нефтесборов: жидкая фаза модельной среды разбавляется дистиллированной водой в отношении 5% / 95% соответственно. | | | | | | |

# ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛНД ДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ



РОСНЕФТЬ
НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ

УТВЕРЖДЕНА
Приказом ПАО «НК «Роснефть»
от «__» _____ 2021 г. №
Введена в действие «__» _____ 2021 г.

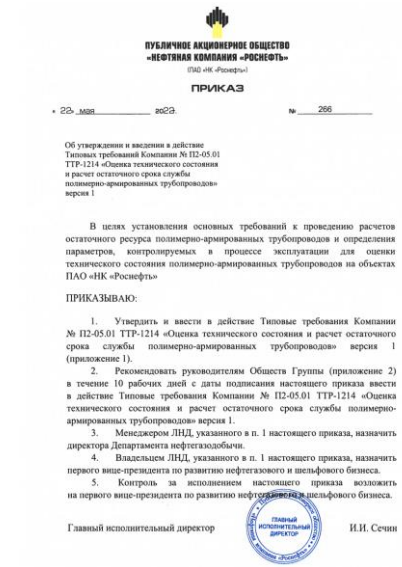
ТИПОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ КОМПАНИИ

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

№ П0-00.00 М-0000

ВЕРСИЯ 1

МОСКВА
2022



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ «РОСНЕФТЬ»
(ПАО «НК «Роснефть»)

ПРИКАЗ

«22» мая 2022 г. № 266

Об утверждении и введении в действие Типовых требований Компании № П2-05.01 ТТР-1214 «Оценка технического состояния и расчет остаточного срока службы полимерно-армированных трубопроводов» версия 1

В целях установления основных требований к проведению расчетов остаточного ресурса полимерно-армированных трубопроводов и определения параметров, контролируемых в процессе эксплуатации для оценки технического состояния полимерно-армированных трубопроводов на объектах ПАО «НК «Роснефть»

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Утвердить и ввести в действие Типовые требования Компании № П2-05.01 ТТР-1214 «Оценка технического состояния и расчет остаточного срока службы полимерно-армированных трубопроводов» версия 1 (приложение 1).
2. Рекомендовать руководителям Обществ Группы (приложение 2) в течение 10 рабочих дней с даты подписания настоящего приказа ввести в действие Типовые требования Компании № П2-05.01 ТТР-1214 «Оценка технического состояния и расчет остаточного срока службы полимерно-армированных трубопроводов» версия 1.
3. Менеджером ЛНД, указанного в п. 1 настоящего приказа, назначить директора Департамента нефтегазодобычи.
4. Владельцем ЛНД, указанного в п. 1 настоящего приказа, назначить первого вице-президента по развитию нефтегазового и шельфового бизнеса.
5. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на первого вице-президента по развитию нефтегазового и шельфового бизнеса.

Главный исполнительный директор И.И. Сечин



## 1. ВВОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### НАЗНАЧЕНИЕ

Настоящие Типовые требования устанавливают основные требования к проведению расчетов остаточного ресурса полимерно-армированных трубопроводов.

Настоящие Типовые требования распространяются на промысловые трубопроводы, эксплуатируемые на нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождениях ПАО «НК «Роснефть» из полиэтилена:

- армированные металлическими лентами и соединительные детали к ним (далее – фитинги), номинальным диаметром от DN 50 до DN 200, допустимым рабочим давлением не более 21 МПа и при температуре транспортируемой среды не выше плюс 60 °С.
- армированных спиральной и продольной металлической проволокой, соединенными между собой контактной сваркой в местах пересечения, и фитинги к ним, номинальным диаметром от DN 70 до DN 330 включительно, допустимым рабочим давлением не более 6,0 МПа и температурой транспортируемой среды не выше плюс 60 °С.

Действия настоящих Типовых требований не распространяются на:

- магистральные трубопроводы;
- металлические трубопроводы;
- полимерные трубы без армирования металлическими материалами;
- полимерные трубы с армированием синтетическими нитями, в т.ч. стеклопластиковые;
- с наличием любых других армирующих элементов кроме металлического каркаса (проволокой или лентой);
- морские трубопроводы.

Настоящие Типовые требования разработаны с учетом требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденных приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 534, в соответствии с Типовыми требованиями Компании «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке промысловых трубопроводов» № П1-01.05 М-0133.

### ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ

Настоящие Типовые требования обязательны для исполнения работниками:

- работниками подконтрольных Обществ Группы (за исключением обществ, в которых отсутствует списочный состав и/или по которым приняты решения о реализации процедур ликвидации, банкротства), зарегистрированных в Российской Федерации, осуществляющих деятельность по добыче нефти на суше, добыче газа на суше, добыче газового конденсата на суше, проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и ликвидации трубопроводов в соответствии с Периметром внедрения настоящих Типовых требований.

Периметр внедрения настоящих Методических указаний утверждается распорядительным документом ПАО «НК «Роснефть» в соответствии с порядком, установленным Стандартом Компании № П3-12.02 С-0001 «Нормативное регулирование».





## 5. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ПАТ

Исходными данными для оценки технического состояния и расчета остаточного срока службы ПАТ являются:

**5.1.** Свойства ПАТ, согласно Таблицы 1.

**Таблица 1**
**Физико-механические свойства материалов ПАТ**

| ОБОЗНАЧЕНИЕ | ПАРАМЕТР |
|---|---|
| $T_g$ | температура стеклования полимерного материала, °С |
| $\sigma_g$ | предел прочности полимерного материала при температуре стеклования, МПа |
| $\sigma_{tg}$ | предел текучести полимерного материала при температуре стеклования, МПа |
| $E_g$ | значение модуля Юнга полимерного материала при температуре стеклования, МПа |
| $V_p$ | коэффициент Пуассона полимерного материала |
| $\alpha_p$ | КЛТР полимерного материала, 1/°С |
| $E_p$ | модуль Юнга внутреннего полимерного слоя, МПа |
| $\sigma_{tp}$ | предел текучести внутреннего полимерного слоя, МПа |
| $\sigma_{pp}$ | предел прочности внутреннего полимерного слоя, МПа |
| $E_a$ | модуль Юнга армирующего материала, МПа |
| $\sigma_{pa}$ | предел прочности армирующего материала, МПа |
| $\sigma_{ta}$ | предел текучести армирующего материала, МПа |
| $V_a$ | коэффициент Пуассона армирующего материала |
| $\alpha_a$ | КЛТР армирующего материала, 1/°С |

**5.2.** Конструкционные характеристики трубопровода, согласно Таблицы 2.

**Таблица 2**
**Конструкционные характеристики ПАТ**

| ОБОЗНАЧЕНИЕ | ПАРАМЕТР |
|---|---|
| $\Phi_a$ | углы намотки армирующих слоев, град. |
| $S_a$ | толщина армирующего слоя, мм |
| $N_1$ | количество продольных проволок в первом (считая изнутри) армирующем слое, шт. |
| $N_2$ | количество спирально навитых проволок во втором (считая изнутри) армирующем слое, шт. |
| $S_{p1}$ | начальная толщина внутреннего полимерного слоя, мм |
| $S_{p2}$ | начальная толщина внешнего полимерного слоя, мм |
| $S_{min}$ | минимально допустимая толщина внутреннего полимерного слоя, мм |
| $S_1$ | шаг между продольными проволоками, мм |
| $S_2$ | шаг намотки спирально навитых проволок, мм |
| $D$ | наружный диаметр трубопровода, мм |
| $D_1$ | внутренний диаметр трубопровода, мм |
| $d_1$ | диаметр продольной проволоки, мм |
| $d_2$ | диаметр спирально навитой проволоки, мм |
| $S_{f1}$ | начальная толщина внутреннего полимерного слоя фитинга, мм |
| $S_{f2}$ | начальная толщина стенки фитинга для сварного и муфтового соединения ПАТ с армированием металлической проволокой, мм |
| $D_{f2}$ | наружный диаметр фитинга для сварного и муфтового соединения ПАТ с армированием металлической проволокой, мм |





**5.3.** Характеристики условий эксплуатации и монтажа трубопровода согласно Таблице 3.

**Таблица 3**
**Условия эксплуатации и монтажа ПАТ**

| ОБОЗНАЧЕНИЕ | ПАРАМЕТР |
|---|---|
| $T_{max}$ | максимальная температура рабочей среды, °С |
| $T_{min}$ | минимальная температура рабочей среды, °С |
| $P$ | максимальное разрешенное внутреннее давление, МПа |
| $F$ | категория транспортируемой жидкости (в соответствии с Приложением 2) |
| $t_r$ | расчетный (плановый) срок службы, лет |
| $t_e$ | текущий срок эксплуатации трубопровода, лет |
| $R_{min}$ | минимальный радиус изгиба трубопровода, м |

**5.4.** Свойства ПАТ и конструкционные характеристики трубопровода принимаются:

- по стандартам или техническим условиям изготовителя труб и должны подтверждаться документами о проведении испытаний на определение физико-механических свойств;
- на основании результатов технической диагностики или ВИК.

**5.5.** Характеристики условий эксплуатации и монтажа трубопровода должны приниматься на основе данных технического диагностирования, эксплуатационной и проектной документации.

**5.6.** Условия эксплуатации ПАТ должны соответствовать требованиям, установленным в проектной документации и технологическом регламенте по эксплуатации. Контроль параметров эксплуатации ПАТ должен осуществляться в соответствии с требованиями эксплуатационной документацией, утверждённой в ОГ.

**5.7.** В процессе эксплуатации ПАТ необходимо осуществлять контроль рабочего давления, температуры и состава перекачиваемой среды с фиксацией параметров в паспорте на трубопровод. В случае выявления отклонений эксплуатационных параметров от проектных значений выполняется соответствующий перерасчет остаточного срока эксплуатации.

**5.8.** С целью подтверждения прочностных характеристик полимерно-армированные трубопроводы должны подвергаться ежегодным испытаниям на прочность (согласно требований проектной документации) и проверке на герметичность. В случае, если расчетное снижение максимального допустимого внутреннего давления в ПАТ, определенное в соответствии настоящими Типовыми требованиями, за год составляет выше 25% от рабочего давления согласно проектной документации ~~в год~~, периодичность испытаний на прочность и герметичность должна быть увеличена.

# ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЛНД ДОБЫВАЮЩИХ КОМПАНИЙ ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**СОГЛАСОВАНО**

Вице-президент ОАО «ЛУКОЙЛ»

_____ Д.К. Челоянц

«27» 05 2009 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый исполнительный вице-президент ОАО «ЛУКОЙЛ»

_____ Р.У. Маганов

«27» 05 2009 г.

**РЕКОМЕНДАЦИИ**

по технической эксплуатации промысловых трубопроводов дочерних обществ ОАО «ЛУКОЙЛ»

Москва 2009 г.



Приложение №2

**Рекомендуемые исполнения труб при замене трубопроводов системы нефтесбора**

| Условия прохождения трассы трубопровода | Тип нефтепровода | Обводненность продукции на 8-10 лет дальнейшей эксплуатации, % | Протяженность трубопровода, м | Проявление АСПО | Предлагаемый материал трубопровода | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ровная местность, категория сложности трассы - I | выкидной нефтепровод (скважина - ГЗУ) | до 30-40% | до 400-500 м | незначительные | стальная "черная" труба, ПАТ | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба | |
| | | | более 400-500 м | незначительные | труба ПАТ, стальная "черная" труба | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба | |
| | | более 30-40% | до 400-500 м | незначительные | труба ПАСН, КСР, ПАТ | * При использовании труб ПАТ при существенных образованиях АСПО необходимо в обязательном порядке предусматривать установку камер пуска и приема очистных устройств |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба, труба ПАТ* | |
| | | | более 400-500 м | незначительные | труба ПАТ, КСР, ПАСН | |
| | | | | существенные | труба ПАТ* | |
| | сборный нефтепровод (ГЗУ - ДНС) | до 20-30% | | незначительные | труба ПАТ, | * при использовании стальных "черных" труб при обводненности перекачиваемой продукции выше 20% необходимо использовать ингибиторы коррозии. ** Для предотвращения отложений АСПО необходимо использовать периодические промывки трубопроводов хим.реагентами |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба | |
| | | более 20-30% | | незначительные | труба ПАТ, КСР, ПАСН, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба*, стальная труба с внутренним полимерным покрытием** | |
| | промысловый нефтепровод (ДНС - ДНС, УППН, УПСВ) | | | незначительные | труба ПАТ, стальная "черная" труба | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | При трубы Д>200 мм, необходимо строительство камер пуска-приема очистных и диагностирующих устройств. |
| | нефтепровод межпромысловый и товарной нефти (УППН - НПС) | до 5-7% | | | стальная "черная" труба | Необходимо строительство камер пуска-приема очистных и диагностирующих устройств |
| | | более 5-7% | | | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| Сложные условия прохождения трассы (болота всех типов, карстообразования, низкая несущая способность грунтов), особо охраняемые зоны (заповедники и т.д.), категория сложности трассы - II и III | выкидной нефтепровод (скважина - ГЗУ) | | | незначительные | стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| | | | | существенные | стальная труба с внутренним полимерным покрытием, стальная "черная" труба | |
| | сборный нефтепровод (ГЗУ - ДНС) | | | незначительные | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| | промысловый нефтепровод (ДНС - ДНС, УППН, УПСВ) | | | незначительные | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | |
| | | | | существенные | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | При трубы Д>200 мм, необходимо строительство камер пуска-приема очистных и диагностирующих устройств. |
| | нефтепровод межпромысловый и товарной нефти (УППН - НПС) | | | | стальная "черная" труба, стальная труба с внутренним полимерным покрытием | Необходимо строительство камер пуска-приема очистных и диагностирующих устройств |



Приложение №3

**Рекомендуемые исполнения труб при замене трубопроводов системы ППД**

| Условия прохождения трассы трубопровода | Тип водовода | Тип и состав перекачиваемой воды | Предлагаемый материал трубопровода | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| Ровная местность, категория сложности трассы - I | высоконапорный водовод (БКНС, КНС - ВРП) | пресная | стальная "черная" труба*; стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | *- стальную "черную" трубу применять для замены водоводов пресной воды при отсутствии проектных решений по переводу системы ППД под закачку сточной воды |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | нагнетательный водовод (ВРП- скважина) | пресная | стальная "черная" труба* | |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | низконапорный водовод промысловый (водозабор, УППН - БКНС, КНС) | пресная | стальная "черная" труба*; труба ПАТ, ПАСН | |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом; труба ПАТ | |
| Сложные условия прохождения трассы (болота всех типов, карстообразования, низкая несущая способность грунтов), особо охраняемые зоны (заповедники и т.д.), категория сложности трассы - II и III | высоконапорный водовод (БКНС, КНС - ВРП) | пресная | стальная "черная" труба*; стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | нагнетательный водовод (ВРП- скважина) | пресная | стальная "черная" труба*; стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | низконапорный водовод промысловый (водозабор, УППН - БКНС, КНС) | пресная | стальная "черная" труба*; стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |
| | | сточная | труба стальная, футерованная изнутри полиэтиленом | |

**Федотова Анна Владимировна**

+ 7 846 987 65 43
+ 7 927 756 24 02
Fedotova@its-samara.com

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

# Трубопроводы из полимерных материалов. Плюсы и минусы различных конструкций

**Докладчик:**
**Начальник ОИНМ Перов Кирилл Алексеевич**

# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

## ГИБКИЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫЕ ТРУБЫ (ГНКТ)




В зависимости от условий эксплуатации гибкие трубы НКТ могут выпускаться с внутренним диаметром от 30 до 45 мм. Рабочее давление составляет до 100 атм.

## КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ ЛИФТОВЫЕ КОЛОННЫ (КЛК)




В зависимости от условий эксплуатации КЛК могут выпускаться с внутренним диаметром от 32 до 62 мм. Рабочее давление составляет до 100 атм.

## СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ ТРУБЫ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ




Внутренний диаметр от 50 до 500 мм
Рабочее давление до 500атм.

## ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫЕ РУКАВА



Диапазон рабочих температур: -50 -+80 С°.

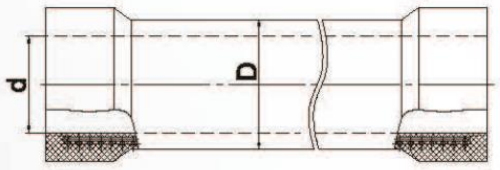
Рабочее давление 0,6- 6,3 МПа.

Изготавливаемые диаметры: 50 -300 мм.

# ВИДЫ И КОНСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

## ЖЕСТКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ ТРУБЫ (ЖПАТ)

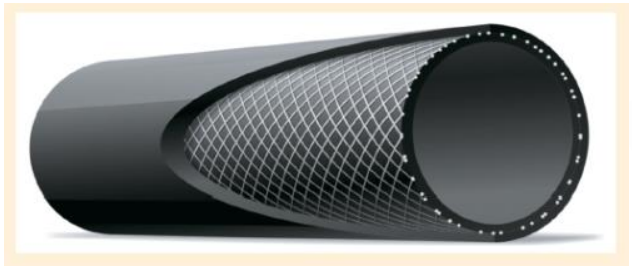


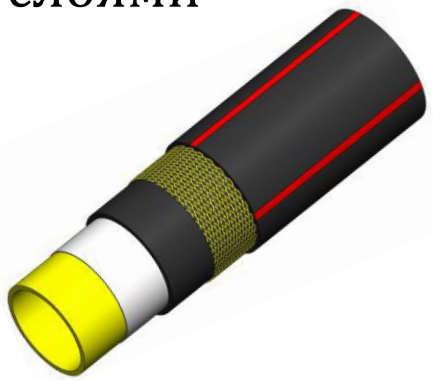



Труба из полиэтилена армирующим слоем из проволоки
Сортамент 50-300 мм
Рабочее давление до 4 МПа

## ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ ТРУБЫ (ГПАТ)

### ГПАТ со связными слоями





Труба многослойная из различных полимерных композиций армирующим слоем из нитей внедренных в полимерную матрицу
Сортамент 50-150 мм
Рабочее давление до 15 МПа

### ГПАТ не связными слоями







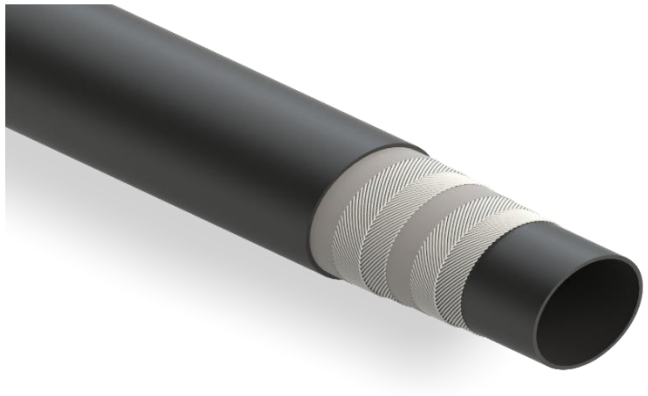


Труба многослойная из различных полимерных композиций с армирующим слоем из металлических лент, волокон или лент стекловолокна не связанных между слоями
Сортамент 50-200 мм
Рабочее давление до 25 МПа

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ ЖЕСТКИХ И ГИБКИХ ПАТ

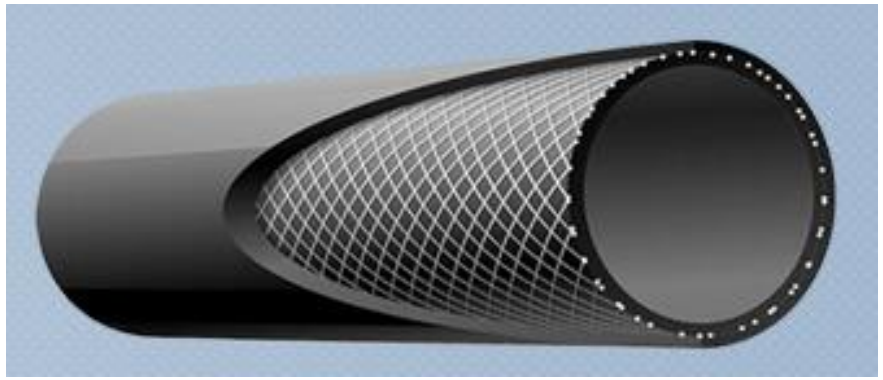
| Вид продукции | Отечественные производители | Зарубежные производители |
|---|---|---|
| Гибкие ПАТ | ООО Норд-Вест | FlexSteel pipes |
| | ООО «ГК ИНТРАТУЛ» | Baker Hughes |
| | ООО «Энергомаш-ВТС» | Topolo |
| | ООО «Мимир инжиниринг» | Soluforce |
| | ООО «СКТ-групп» | HexelOne |
| | ООО «Технология композитов»<br>ГК «Полипластик» | PES.TEC |
| Жесткие ПАТ | ООО «Мепос» | |
| | ООО «Полимак» | |
| Стеклопластиковые трубы | ООО «ЗСТ» | |
| | ООО «ТрубопроводСпецСтрой» | |

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Технология композитов» (ГК «Полипастик»)



Труба ANACONDA+ — инновационная разработка ООО “Технология композитов”.
Это гладкостенная многослойная монолитная конструкция, которая имеет следующий состав:
•внутренний полиэтиленовый слой (трубный полиэтилен ПЭ100);
•силовые армирующие слои, уложенные на внутренний полиэтиленовый слой спиральноперекрестной намоткой импрегнированного стеклоровинга;
•наружный полиэтиленовый слой (трубный полиэтилен ПЭ100).

Характеристики
Внутренний диаметр (Д): 55-125 мм;
Рабочее давление (Р): 220 атм;
Максимальная рабочая температура: 80°С.



Труба ANACONDA™
Наружный и внутренний слои выполняются из трубного полиэтилена с минимальной длительной прочностью MRS 10,0 МПа (ПЭ 100). Армирование трубы производится полиэфирными малоусадочными нитями с повышенной адгезией с пределом прочности 900 МПа.

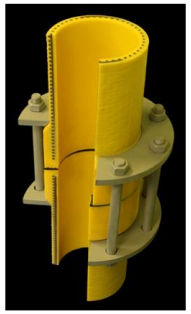
Характеристики
Внутренний диаметр (Д): 75-160 мм;
Рабочее давление (Р): 40 атм;
Максимальная рабочая температура: 80°С.

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Мерос» город Екатеринбург

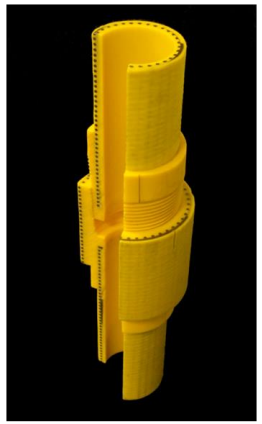
Типы соединений



Сварное соединение



Фланцевое соединение



Резьбовое соединение

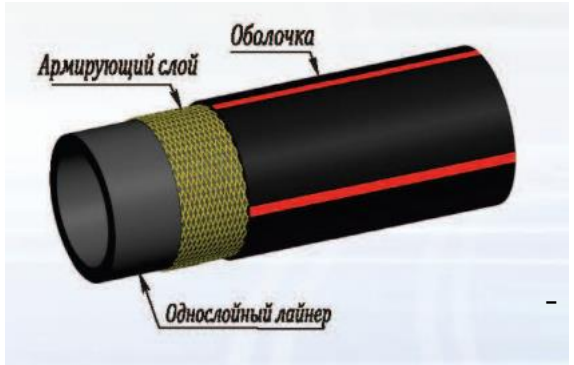
| | Размеры, mm | | | | Физико-механические свойства | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Внешний диаметр | Толщина стенки | Диаметр проволоки | Вес, кг | Растягивающая осевая нагрузка, КНт, не менее | Герметичность при постоянном давлении в теч. 1 часа, МПа, не менее | Предельное разрушающее давление, Мпа, не менее |
| МПТ 95 | 95 | 11,0 | 3,0 | 6,51 | 6,0 (60) | 10,0 (105) | 19,0 (190) |
| МПТ 115 | 115 | 11,5 | 3,0 | 8,51 | 7,2 (72) | 9,0 (90) | 15,0 (150) |
| МПТ 140 | 140 | 12,0 | 3,0 | 10,22 | 9,0 (90) | 7,5 (75) | 13,0 (130) |
| МПТ 160 | 160 | 12,0 | 3,0 | 12,37 | 11,0 (110) | 6,0 (60) | 11,5 (115) |
| МПТ 200 | 200 | 12,5 | 3,0 | 15,35 | 14,0 (140) | 5,4 (54) | 9,0 (90) |
| МПТ 225 | 225 | 12,5 | 3,0 | 17,58 | 16,0 (160) | 4,8 (48) | 8,0 (80) |

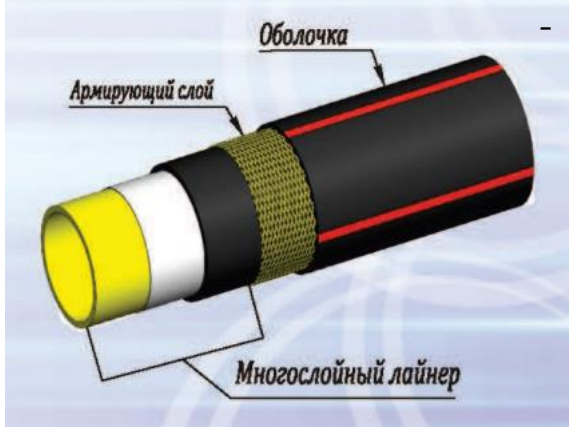


# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Полимак», город Екатеринбург

## Характеристики

- Внутренний диаметр (Д): 95-330 мм;
- Рабочее давление (Р): 40 атм;
- Максимальная рабочая температура: 80°С.




## Характеристики

- Внутренний диаметр (Д): 75-160 мм;
- Рабочее давление (Р): 40 атм;
- Максимальная рабочая температура: 80°С.

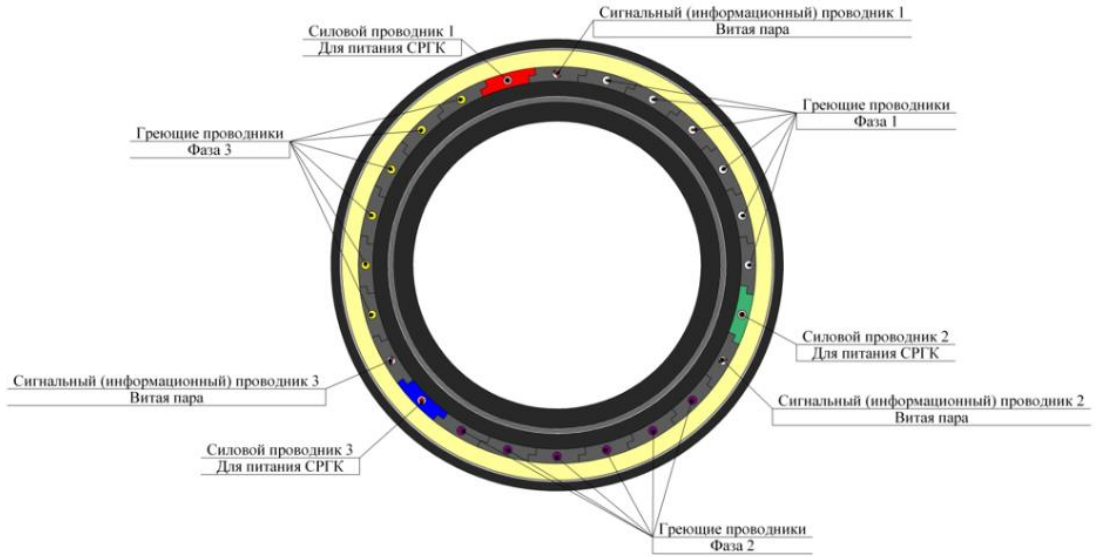


# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО Норд-вест, город Великие Луки

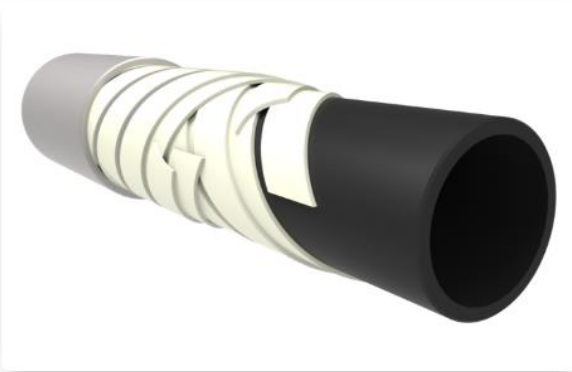
## Гибкие полимерные армированные трубы

### Характеристики

- Внутренний диаметр (Д): 50-200 мм;
- Рабочее давление (Р): 40-180 атм;
- Рабочая температура: -60°С…+60°С. По требованию заказчика СТВ может быть произведена из материала с повышенной термостойкостью, что позволит использовать продукт при температурах до +80°С;
- Перекачиваемые среды: жидкости и газы;
- Срок службы: 20 лет;

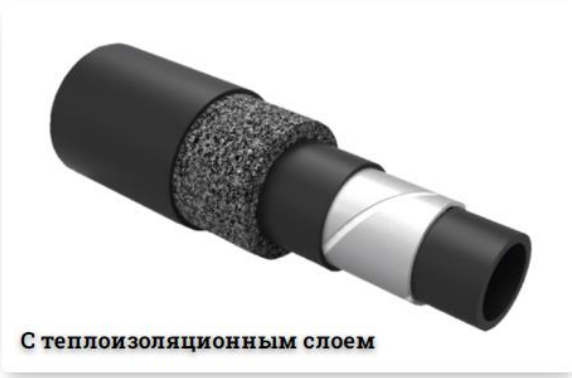



**СТВ с электроподогревом, конструктивные особенности**

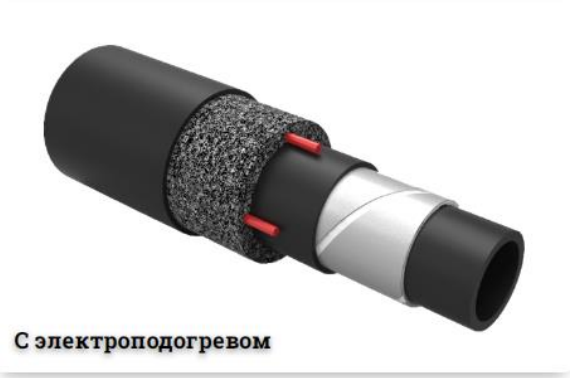


**Без теплоизоляционного слоя и электроподогрева**

- Внутренний диаметр (Д): 50-200 мм;
- Рабочее давление (Р): 40-180 атм;
- Рабочая температура: -60°С…+60°С. По требованию заказчика СТВ может быть произведена из материала с повышенной термостойкостью, что позволит использовать продукт при температурах до +80°С;
- Перекачиваемые среды: жидкости и газы.



**С теплоизоляционным слоем**



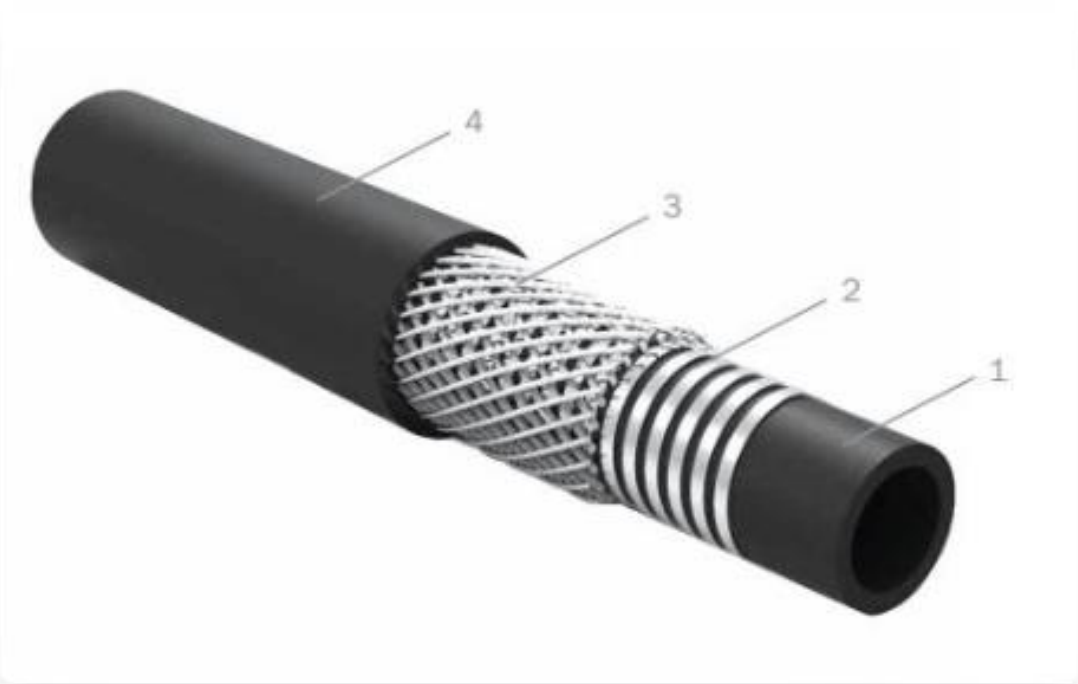
**С электроподогревом**

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО Норд-вест, город Великие Луки

## Полимерные гибкие насосно-компрессорные трубы (Полимерные ГНКТ)

### Характеристики

- Внутренний диаметр (Д): 10-62 мм;
- Рабочее давление (Р): 200 атм;
- Максимальная рабочая температура: 70°С.




### Полимерная труба

Конструкция:

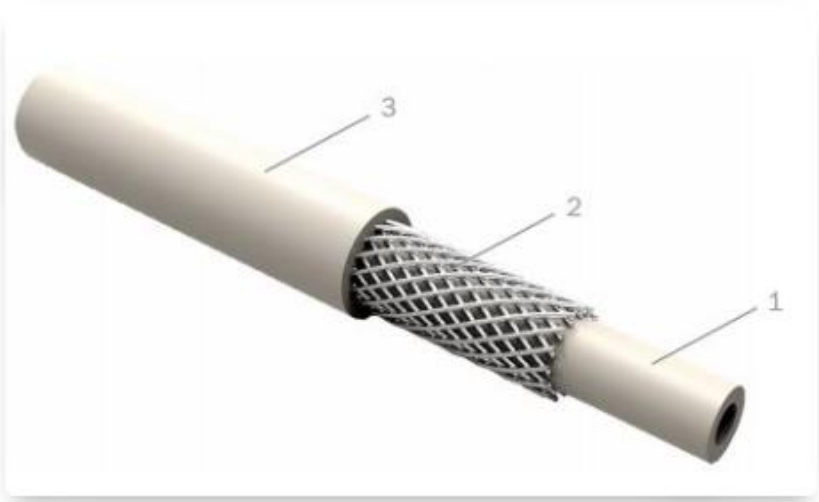
- 1 - полимерная труба;
- 2 - армирующий элемент;
- 3 - армирующий повив брони;
- 4 - наружная полимерная оболочка.

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО Норд-вест, город Великие Луки

## Трубопроводы капиллярные высокого давления

### Характеристики

- Внутренний диаметр (Д): 5-8 мм;
- Рабочее давление (Р): 150 атм;
- Максимальная рабочая температура: 90°С.




**Капиллярная полимерная труба**

Конструкция:

- 1 - полимерная труба;
- 2 - армирующие повивы брони;
- 3 - наружная полимерная оболочка.

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «ГК ИНТРАТУЛ», город Санкт-Петербург

## Гибкие полимерные армированные трубы



| Тип армирования | Труба армированная полимерными материалами |
|---|---|
| Внутренний слой | Полиэтилен высокой плотности с полимерным барьерным слоем, препятствующим проникновению газа в межтрубное пространство |
| Армирующий слой | Полимерное волокно/ленты обеспечивают прочность сравнимую со стальным кордом при полном отсутствии коррозии |
| Наружный слой | Полиэтилен высокого давления/линейный полиэтилен низкой плотности, защищающий армирующий слой от механических повреждений, температурных и химических воздействий |
| Мин. температура эксплуатации | Минус 60 °С |
| Радиус изгиба, м PN63 DN 50/100/150 | 0.5/0.85/1.3 |
| Вес, кг/п.м PN63 DN 50/100/150 | 2.5/5.3/9.7 |

- Рабочее давление до 32 МПа;
- Рабочая температура от минус 60°С до + 80°С;
- Условный диаметр трубопроводов от 50 до 200 мм;

# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «ГК ИНТРАТУЛ», город Санкт-Петербург

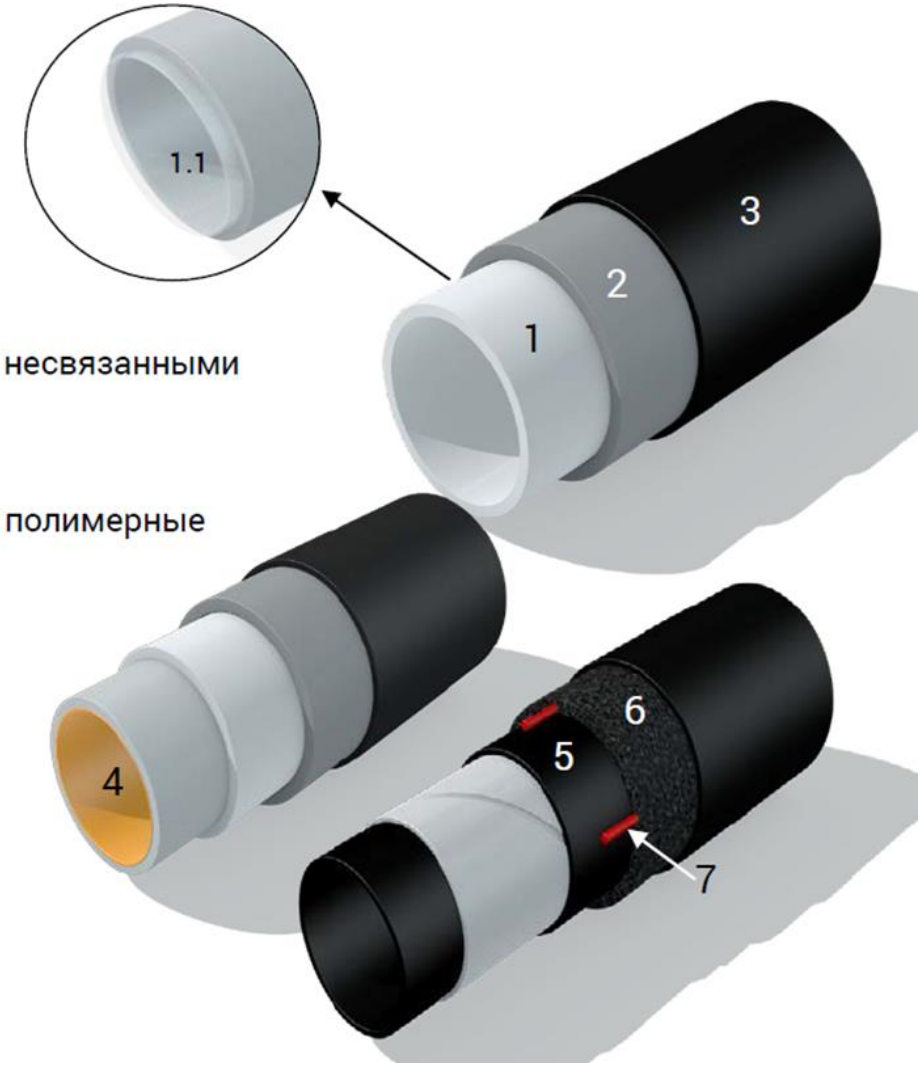
## Гибкие полимерные армированные трубы

### Дизайн гибких армированных труб (давление от 4 до 21 МПа)

- Базовый дизайн ПАТ – трехслойная конструкция со связанными или несвязанными слоями:
  - Внутренний герметизирующий слой (1)

  (при необходимости для снижения газопроницаемости используются полимерные добавки во внутренний слой 1.1);
  - Промежуточный армирующий слой (2)
  - Внешний защитный слой (3)

- Опционально могут применяться дополнительные слои:
  Дополнительный полиамидный слой для снижения диффузии газов и отложения АСПО (4);
  Противоизносные (5);
  Теплоизоляционные (6);
  С греющим кабелем / оптоволоконным кабелем (7)



# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Энергомаш ВТС», город Щекино Тульская область

## Гибкие полимерные армированные трубы

В зависимости от условий эксплуатации ВТС могут выпускаться с внутренним диаметром от 30 до 140 мм. Рабочее давление составляет от 40 до 180 атм.









# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Энергомаш ВТС», город Щекино Тульская область

## Концентрические лифтовые колонны (КЛК)

В зависимости от условий эксплуатации КЛК могут выпускаться с внутренним диаметром от 32 до 62 мм. Рабочее давление составляет до 100 атм.




## Гибкие насосно-компрессорные трубы (ГНКТ)

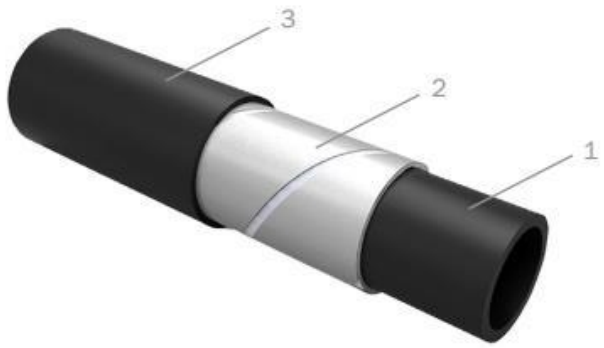
В зависимости от условий эксплуатации гибкие трубы НКТ могут выпускаться с внутренним диаметром от 30 до 45 мм. Рабочее давление составляет до 100 атм

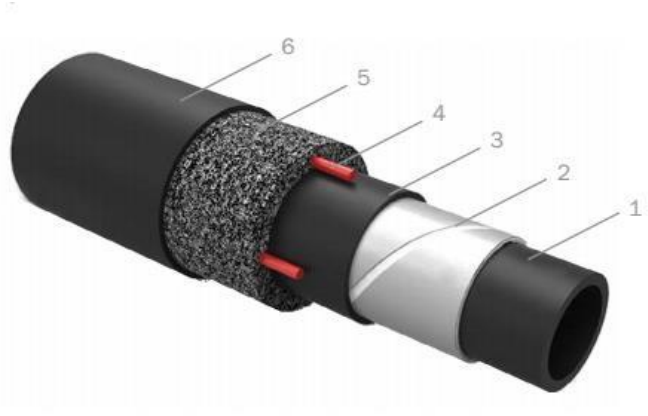


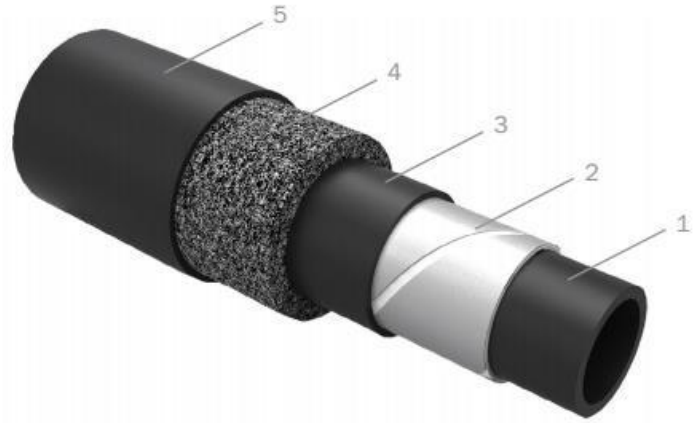
# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «СКТ-Групп», город Псков

## Гибкие полимерные армированные трубы

В зависимости от условий эксплуатации могут выпускаться с внутренним диаметром от 50 до 140 мм. Рабочее давление составляет от 40 до 100 атм.



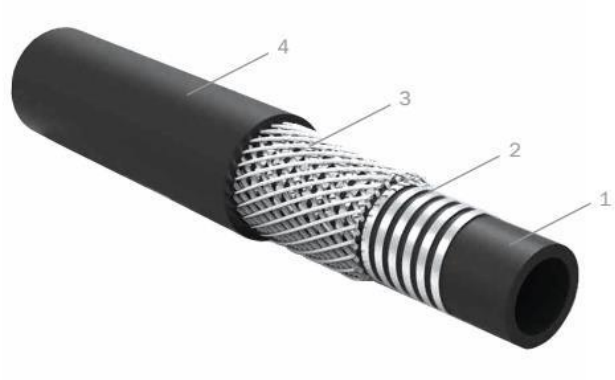



# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «СКТ-Групп», город Псков

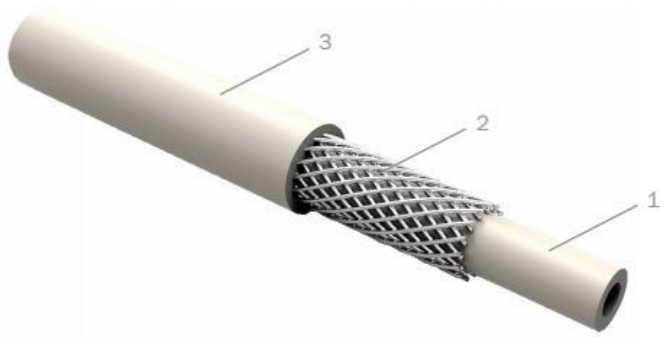
## Полимерные гибкие насосно-компрессорные трубы (полимерные ГНКТ)

В зависимости от условий эксплуатации могут выпускаться с внутренним диаметром от 10 до 62 мм. Максимальное рабочее давление составляет 200 атм.



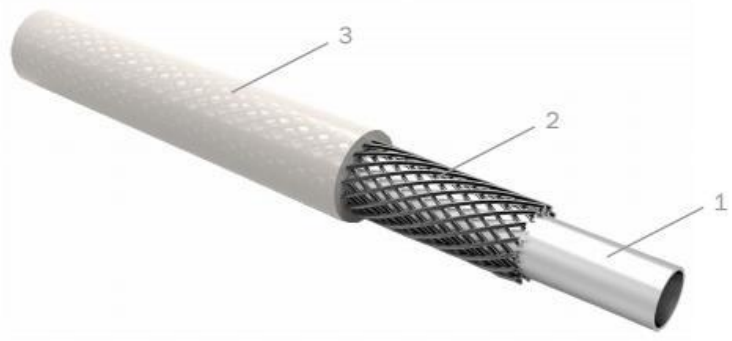

## Трубопроводы капиллярные высокого давления

В зависимости от условий эксплуатации могут выпускаться с внутренним диаметром от 5 до 8 мм. Максимальное рабочее давление составляет 150 атм.



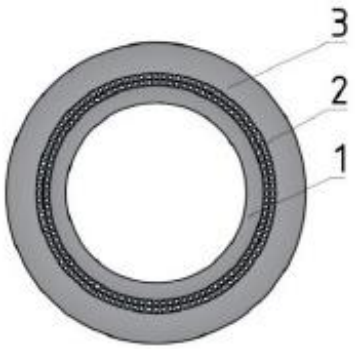

## Капиллярные полимерно-металлические трубопроводы высокого давления

В зависимости от условий эксплуатации могут выпускаться с внутренним диаметром от 4 до 8 мм. Максимальное рабочее давление составляет 50 атм.



# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием ООО «Мимир Инжиниринг», город Зеленогорск

## Гибкие полимерно-армированные трубы






Основная труба производится с внутренним проходным Ø 50, 75, 100, 125, 150, 200 мм

Трубы производятся для систем среднего и высокого давления для рабочих режимов до 4/6,3/8/12/18/25 МПа

Для транспортировки агентов с температурами до 60/80/95°С

Минимальная температура окружающей среды для эксплуатации ГПАТ составляет до – 60°С

Трубы выпускаются в бухтах (на катушках) от 25 до 600 метров, опционально могут выпускаться в отрезках (штангах) длинной 11,8 (12) метров

Срок службы – 20 лет

Внутренняя оболочка из различных видов полимеров

Армирующий слой UD–лента, на основе различных армирующих материалов

Вешняя оболочка из различных видов полимеров стойкая к ультрафиолетовому излучению

# Плоскосворачиваемые рукава производства ООО «Балтикфлекс», город Санкт Петербург

Диапазон рабочих температур: -50 -+80 С°.

Рабочее давление 0,6- 6,3 МПа.

Изготавливаемые диаметры: 50 -300 мм.

Вес 1 метра рукава DN 150 PN40: 3,2 кг.

Все рукава изготавливаются с медными стренгами для снятия статического электричества.



# Стеклопластиковые трубопроводы производства ООО «ЗСТ», город Казань

| № | Наименование показателя | Единица измерения | Величина |
|---|---|---|---|
| 1. | Модуль упругости при растяжении в окружном направлении | ГПа | 22.9 ÷ 35,6 |
| 2. | Модуль упругости при растяжении в осевом направлении | ГПа | 13.5 ÷ 16,9 |
| 3. | Предел прочности при растяжении в окружном направлении | ГПа | 0,26 ÷ 0,31 |
| 4. | Предел прочности при растяжении в осевом направлении | ГПа | 0,18 ÷ 0,20 |
| 5. | Коэффициент Пуассона (низший) | - | 0.39 |
| 6. | Коэффициент теплопроводности | Вт/(м×К) | 0,12 |
| 7. | Коэффициент линейного температурного расширения | 1/ °С | $15,7\times10^{-6}$ |
| 8. | Удельная теплоемкость | Дж/(кг К) | 800 ÷ 1100 |
| 9. | Плотность | кг/м$^3$ | 1800 ÷ 2100 |
| 10. | Степень отверждения, не менее | % | 95 |
| 11. | Водопоглощение, не более | % | 0,15 |
| 12. | Содержание полимерной части | % | 17.0 ÷ 27.0 |
| 13. | Абсолютная шероховатость внутренней поверхности труб | мм | 0,0012 |

| | |
|---|---|
| Минимальные коэффициенты запаса прочности по герметичности | 2,3 |
| Максимальное рабочее давление | до 27,6 МПа |
| Максимальная рабочая температура | до +75ºС или до +110ºС |
| Минимальная температура | до минус 60ºС |
| Максимальная длина труб | до 9,12 метра |
| Условный внутренний диаметр труб | 50, 63, 76, 100, 150, 200 мм. |
| Соединение труб: | резьбовое, фланцевое, металлическое съемное-разъемное (ПМТП). |
| Максимальная глубина спуска НКТ: | нагнетательный фонд - 3000 метров<br>добывающий фонд - 1500 метров |
| Минимально допустимый радиус изгиба труб | Зависят от диаметра, номинального давления трубы и указываются в Таблице 3 Спецификации СП 2296-001-26757545-2022 |



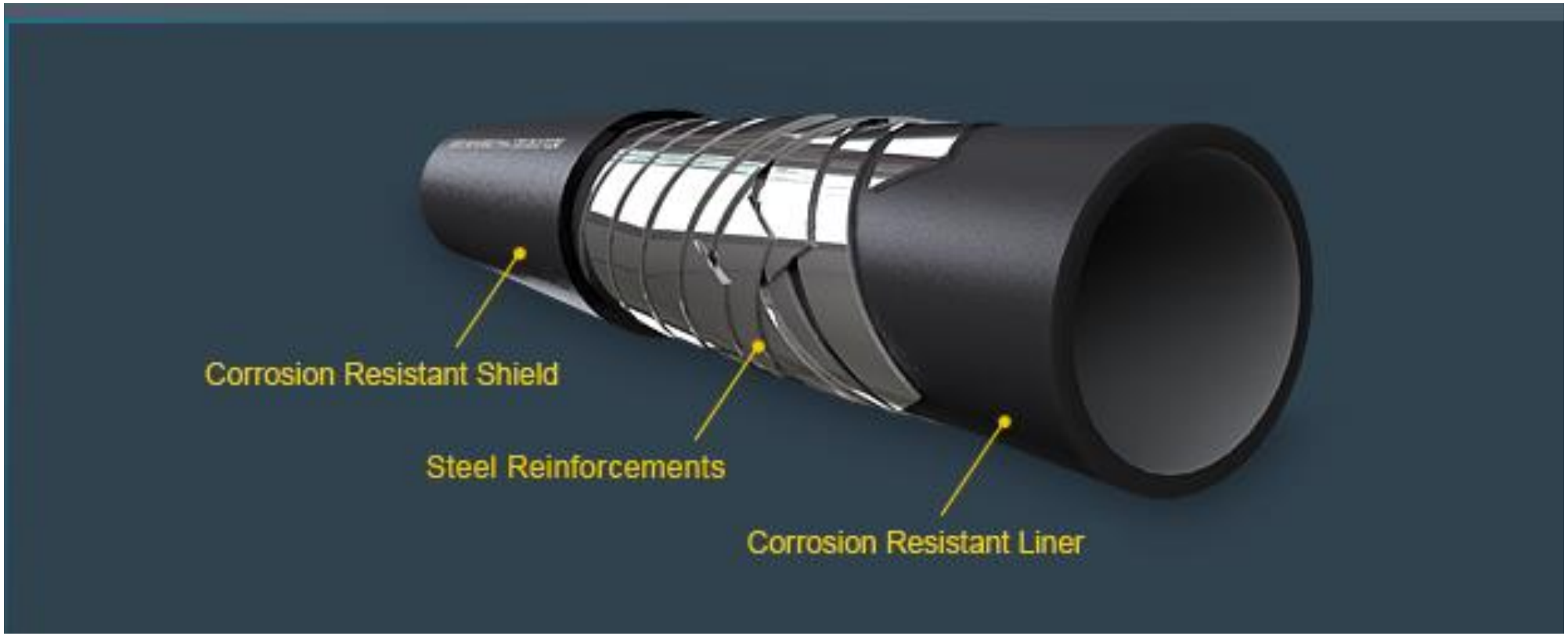
# Стеклопластиковые трубопроводы производства ООО «ТрубопроводСпецСтрой», город Пермь

| | |
|---|---|
| Рабочее давление | До 6.3 МПа |
| Температура транспортируемого продукта | До 120 °С |
| Внутренний диаметр | До 315 мм |
| Длина трубы | До 9 метров |
| Соединение труб | Сварной, клеевой, фланцевый, резьбовой, раструбно-шиповой |



# Основные виды продукции выпускаемые предприятием FlexSteel pipes, США

Диаметр от 50-200мм
Рабочее давление до 204 атм



# Виды продукции выпускаемой предприятием Soluforce, Нидерланды

| | | TYPE: | Ø | PRESSURE*: | DESIGN | RECOMMENDED USE: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Inch | BAR / psi | TEMPERATURE: | Water | Hydrocarbon | Offshore |
| | | | | | °C / °F | | | |
| SoluForce Light | | | | | | | | |
| | ST | L450 ST | 4 | 45 / 653 | 85 / 185 | o | o | |
| | | L540 ST | 6 | 36 / 522 | 85 / 185 | o | o | |
| | GT | L450 GT | 4 | 45 / 653 | 85 / 185 | o | o | |
| | | L540 GT | 6 | 36 / 522 | 85 / 185 | o | o | |
| SoluForce Classic | | | | | | | | |
| | ST | M480 ST | 4 | 113 / 1639 | 85 / 185 | o | o | o |
| | | M570 ST | 6 | 90 / 1305 | 85 / 185 | o | o | o |
| | GT | M480 GT | 4 | 113 / 1639 | 85 / 185 | | o | o |
| | | M570 GT | 6 | 90 / 1305 | 85 / 185 | | o | o |
| SoluForce Heavy | | | | | | | | |
| | ST | H415 ST | 4 | 466 / 6759 | 85 / 185 | o | o | o |
| | | H515 ST | 6 | 388 / 5627 | 85 / 185 | o | o | o |
| | GT | H415 GT | 4 | 466 / 6759 | 85 / 185 | | o | o |
| | | H515 GT | 6 | 388 / 5627 | 85 / 185 | | o | o |
| | HT | H415 HT | 4 | 466 / 6759 | 105 / 225 | o | o | o |
| | | H515 HT | 6 | 388 / 5627 | 105 / 225 | o | o | o |



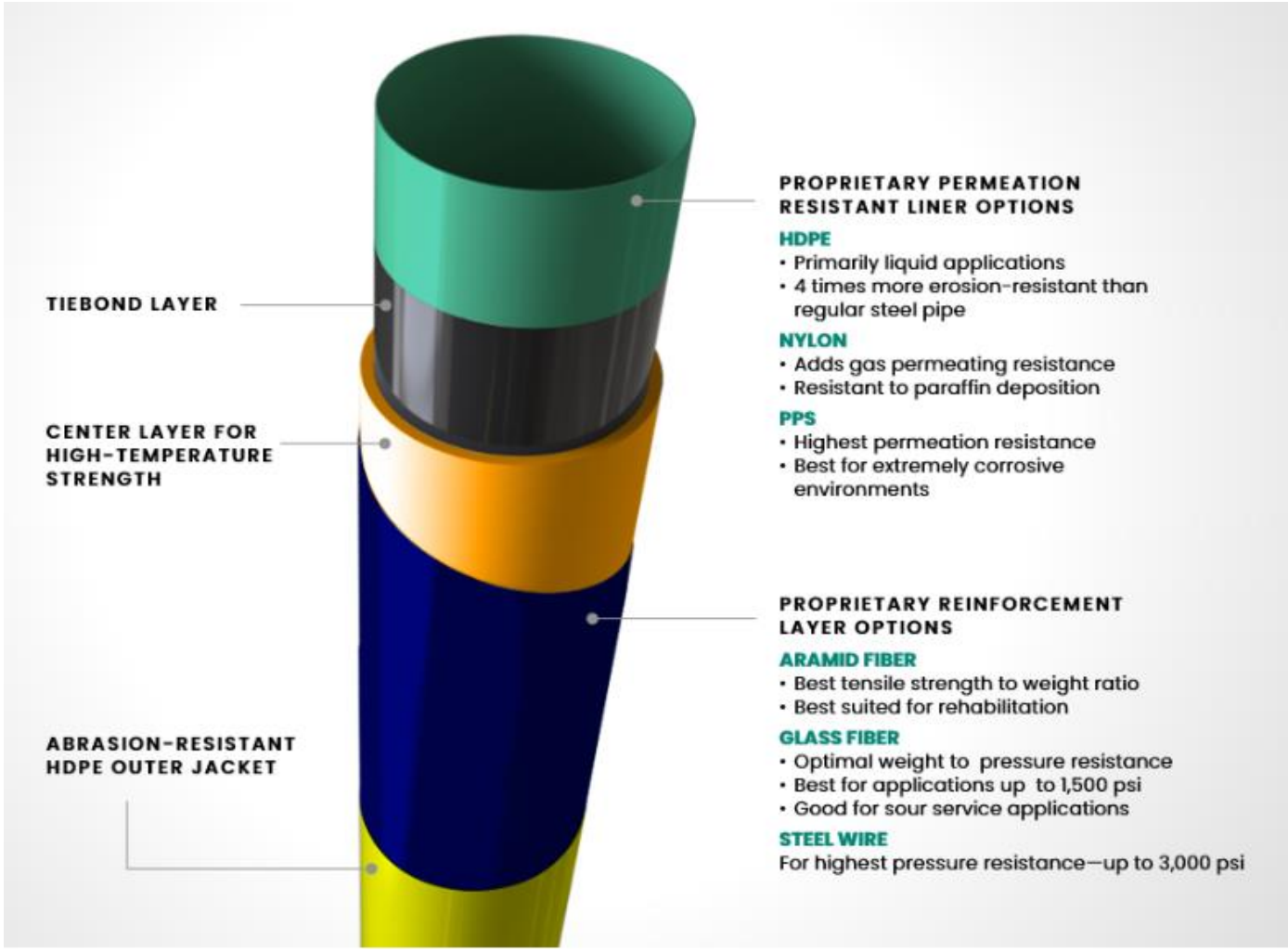




Перекачка водорода при давлении до 42 атмосфер

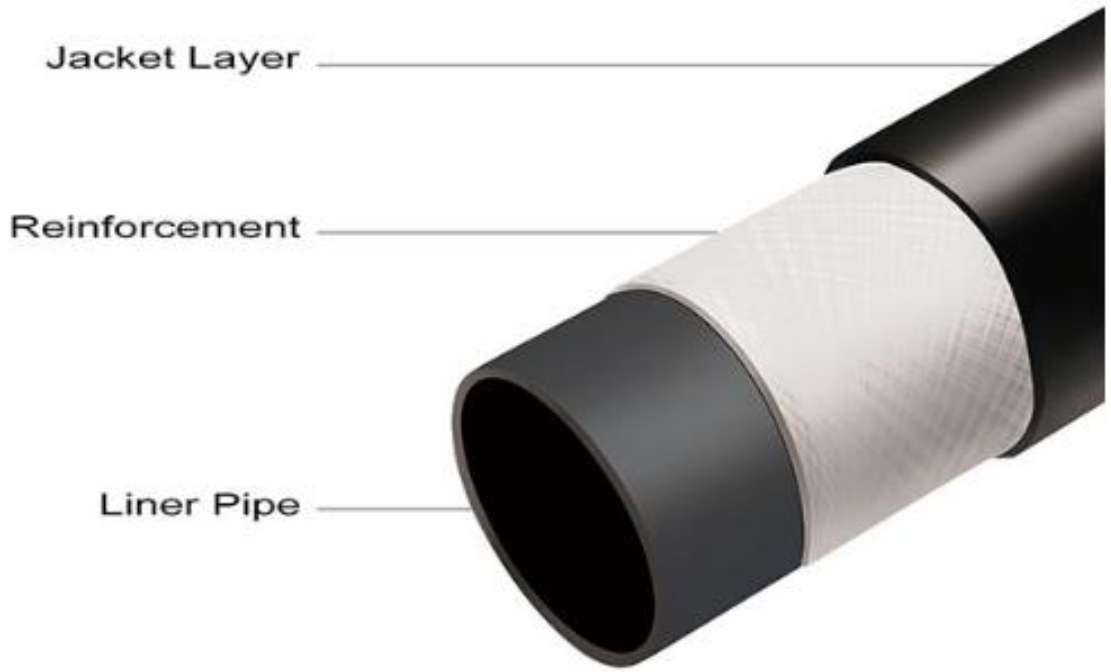
# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием Baker Hughes, США

Максимальная температура эксплуатации 82,2°C
Максимальное рабочее давление до 200 атм.



# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием Topolo, Китай

Максимальная рабочая температура 130°C (для PVDF)




| Имя | Материалы | Процесс |
|---|---|---|
| Лайнер | полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, полиуретан, полиамид и поливинилиденфторид и др. | Экструзия |
| Армирование | Полиэтилен, арамид, полиэстер, полиамид, стекло, углерод, металлическое волокно и т. д. | Намотка или плетение |
| Слой куртки | Полиэтилен, ПВХ, полипропилен, полиуретан, полиамид и др. | Экструзия |

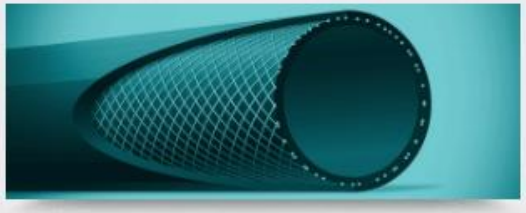
# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием HexelOne, Германия






# Основные виды трубопроводов выпускаемые предприятием PES.TEC, Германия

## Труба НД РТП



Экономичная многослойная трубная система из полиэтилена высокой плотности RTP до 40 бар (580 фунтов на квадратный дюйм) и 85°C

## Труба RTP LF



Система многослойных труб из ПЭВП с волокном RTP размером до 315 мм, подходящая для 25 бар (350 фунтов на квадратный дюйм) и 85°C

## Труба RTP LS



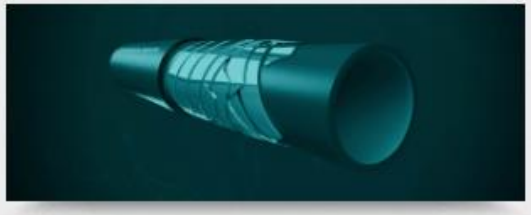
Стальная многослойная трубная система из полиэтилена высокой плотности RTP диаметром до 400 мм, рассчитанная на давление 30 бар (430 фунтов на квадратный дюйм) и температуру 85°C

## Труба RTP MF/HF



Многослойная трубная система из многослойного полиэтилена высокой плотности RTP до 120 бар (1700 фунтов на кв. дюйм) и 85°C

## Труба RTP HS/US



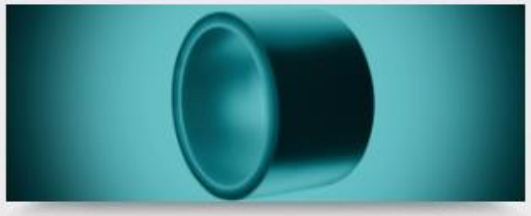
Стальная многослойная трубная система из полиэтилена высокой плотности RTP до 150 бар (2150 фунтов на кв. дюйм) и 85°C

## Система трубопроводов LPS



Фабричная система стальных труб с предварительно футеровкой и покрытием из полиэтилена высокой плотности для высокого давления и температуры

## Стеклопластиковая труба



Система труб HDPE, армированная стекловолокном

## Армированная гофрированная труба



Армированные сталью гофрированные трубы из ПЭВП для гравитационных или встроенных применений

# ПЛЮСЫ И МИНУСЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ ТРУБЫ

### ПЛЮСЫ

Трубы имеют равномерную прочность по всей поверхности за счет того что изготавливаются из единого материала.
Выдерживают растягивающих нагрузки, не могут образоваться трещины.
Технология позволяет создавать изделия с переменным диаметром, также с сечением сложной формы.
Трубы обладают высокой прочностью.

### МИНУСЫ

К недостаткам относят быстрый абразивный износ.
Если трубы подвергаются механической обработке, то образуется канцерогенная пыль, вредная для здоровья.
Существенные проблемы с утилизацией и переработкой бывших в эксплуатации труб.

# ПЛЮСЫ И МИНУСЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫЕ РУКОВА

### ПЛЮСЫ

Рукава подвижны и износостойки. Пластичность и малый вес. В нерабочем состоянии форма становится плоской.
Выдержка внутреннего давления до 14 атм.
Высокая степень износа.
Использование рукавов возможно при температуре от минус пятидесяти до плюс восьмидесяти.
Шланг развертывается со скоростью до 10 километров в час.

### МИНУСЫ

Нарушение герметичности из-за неправильной установки соединительной муфты.
Снижение надежности с увеличением срока эксплуатации.

# ПЛЮСЫ И МИНУСЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## ЖЕСТКИЕ ПОЛИМЕРНО АРМИРОВАННЫЕ ТРУБЫ

### ПЛЮСЫ

Отсутствуют ограничения по способу прокладки (подземный, наземный, надземный)

Высокая стойкость к абразивному износу позволяет использовать трубы для транспортировки агрессивных жидкостей с высоким содержанием механических примесей.

Конструктивное исполнение с полимерными соединениями в виде муфт обеспечивает высокую коррозионную стойкость трубопровода.

### МИНУСЫ

Ограничение по рабочему давлению до 40 атм.

Значительный вес за счет стального каркаса.

Нарушение герметичности из-за ошибок при монтаже муфтового соединения.

Возможно развитие коррозионных повреждений стального каркаса при длительном сроке эксплуатации в высоко агрессивных средах.

# ПЛЮСЫ И МИНУСЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНО АРМИРОВАННЫЕ ТРУБЫ СО СВЯЗНЫМИ СЛОЯМИ

### ПЛЮСЫ

Рабочее давление до 200 атм.
Возможность транспортировки сред с температурой до 80 °С(PE-RT).
Конструкция препятствует скоплению газа в межтрубном пространстве.
За счет гибкости трубопроводы способны выдерживать подвижки грунта, вызванные при землетрясениях, пучении и просадки грунта, что повышает их живучесть. Повороты трубопровода можно осуществлять упругим изгибом.

### МИНУСЫ

Возникновение декомпрессии и расслоения при перепадах давления и разности плотностей материалов слоев
Риск развития коррозионных повреждений стальных фитингов при неправильном выборе материала и эксплуатации в агрессивных средах.
Низкая кольцевая жесткость трубопровода, что препятствует надземной прокладке.

# ПЛЮСЫ И МИНУСЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНО АРМИРОВАННЫЕ ТРУБЫ С НЕ СВЯЗНЫМИ СЛОЯМИ

### ПЛЮСЫ

Рабочее давление до 200 атм.
Возможность транспортировки сред с температурой до 80 °С (PE-RT).
За счет гибкости трубопроводы способны выдерживать подвижки грунта, вызванные при землетрясениях, пучении и просадки грунта, что повышает их живучесть. Повороты трубопровода можно осуществлять упругим изгибом.

### МИНУСЫ

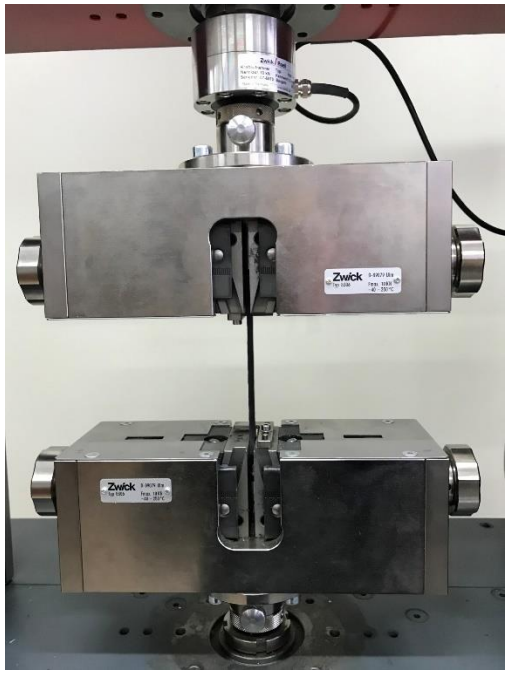
Риск развития коррозионных повреждений стальных фитингов при неправильном выборе материала и эксплуатации в агрессивных средах.
Высокая вероятность скопление газа и попадания транспортируемого продукта в межтрубное пространство за счет не совершенства конструкции фитингов.
Больший вес, особенно на ГПАТ армированных металлом.

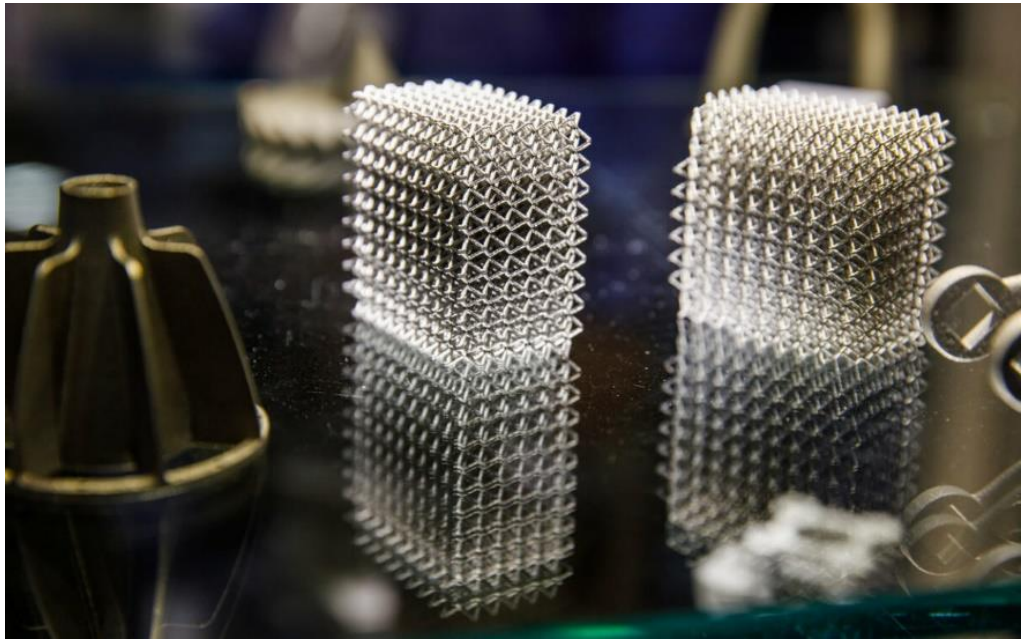
Перов Кирилл Алексеевич

**+ 7 846 987 65 43**
**+ 7 960 818 23 81**
**Perov@its-samara.com**

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ И КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ



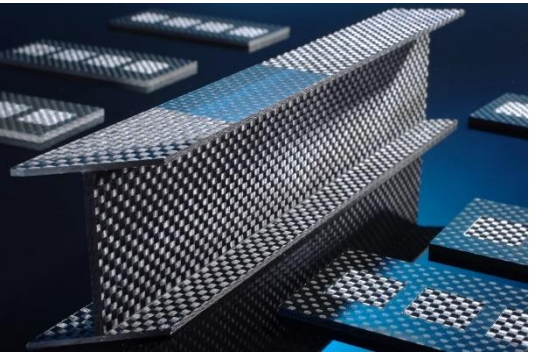






**Докладчик:**

**Преподаватель кафедры «ХТПКМ» Гречухин Александр Вячеславович**

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ





Ракетостроение

Авиация

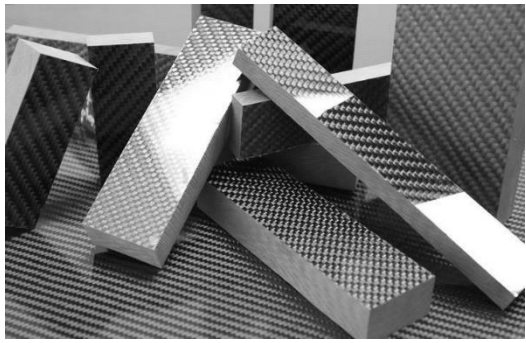


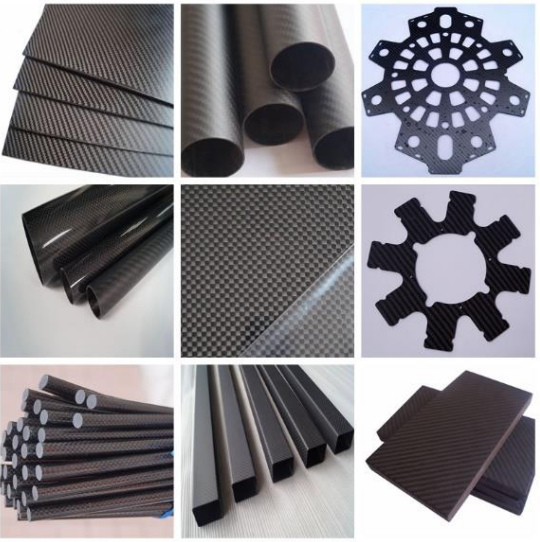


Нефтедобыча

Пары скольжения









Автомобилестроение



Средства защиты



Ветроэнергетика

Энергетика





Судостроение



Строительство



Медицина

Аксессуары

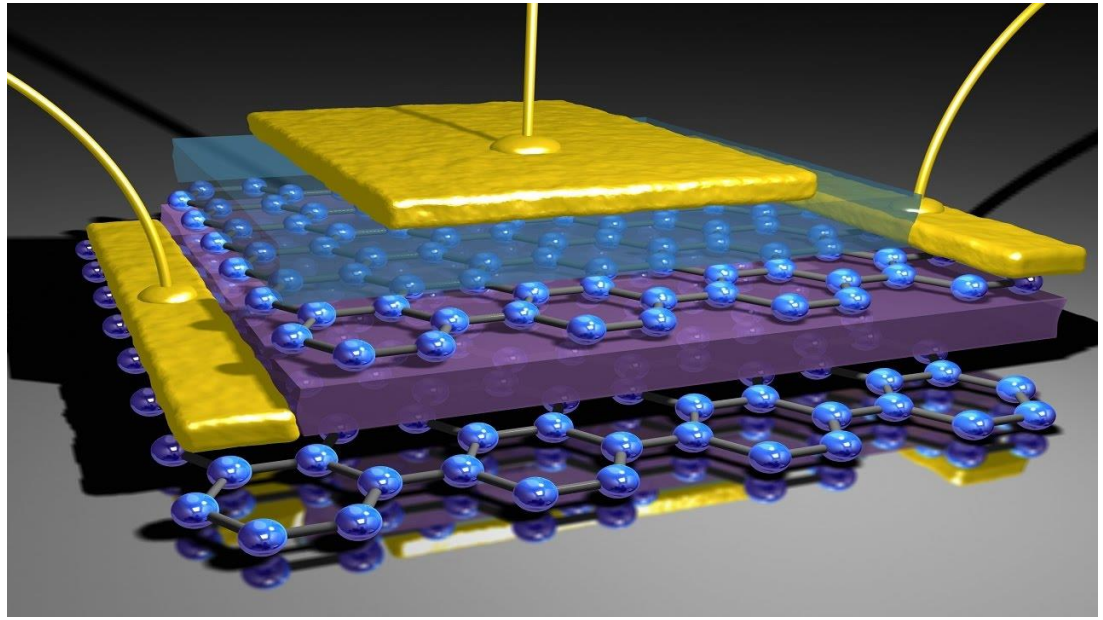


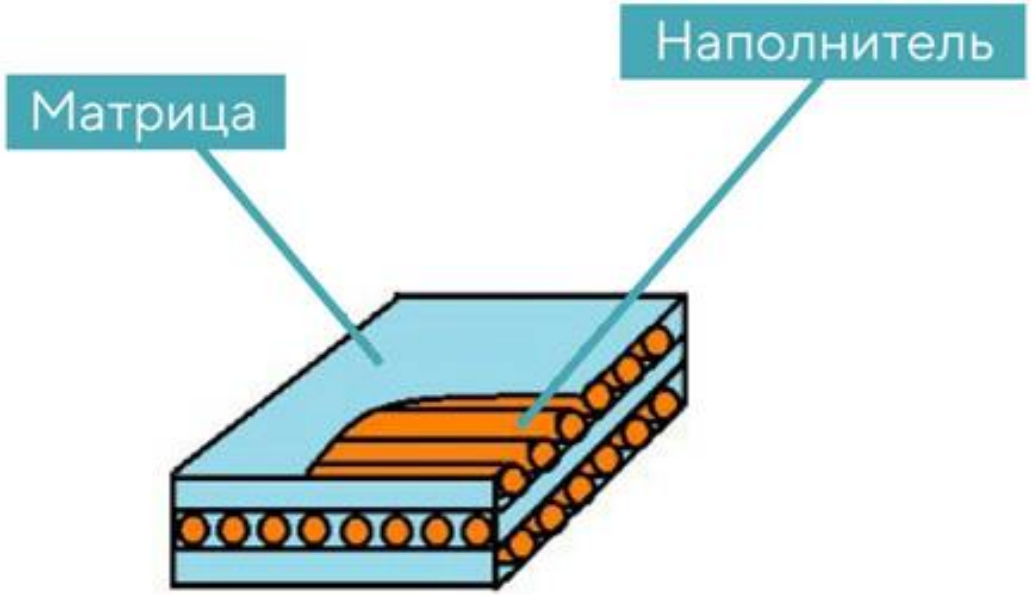


# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов являются **композиционными материалами (КМ)**. При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав КМ, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга.

В широком смысле композиционный материал – это любой материал с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз.





# КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МАТЕРИАЛУ МАТРИЦЫ (МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ПРИНЦИП)

**Матрица** – непрерывная фаза обеспечивающая равномерное перераспределение внешних напряжений в объеме.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МАТЕРИАЛУ МАТРИЦЫ

## полимерная матрица

**Термопластичная:**

Полиэтилен
Полипропилен
Полистирол
Поливинилхлорид
Полиэтилентерефталат
Поликарбонат
Полиамиды
и др.

**Термореактивная:**

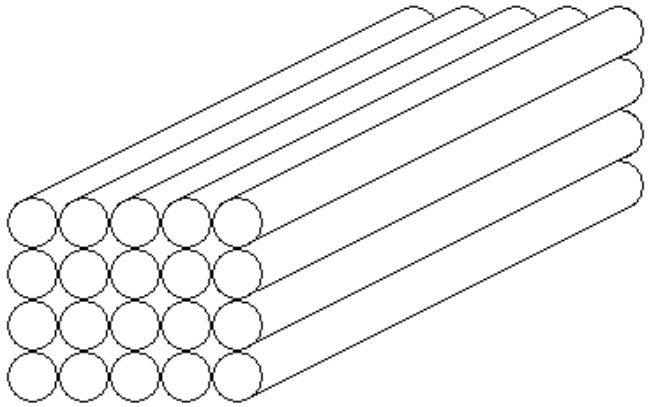
Фенолоальдегидные смолы
Аминосмолы
Полиэфирные смолы
Эпоксидные смолы
Полиуретановые
и др.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ГЕОМЕТРИИ НАПОЛНИТЕЛЯ

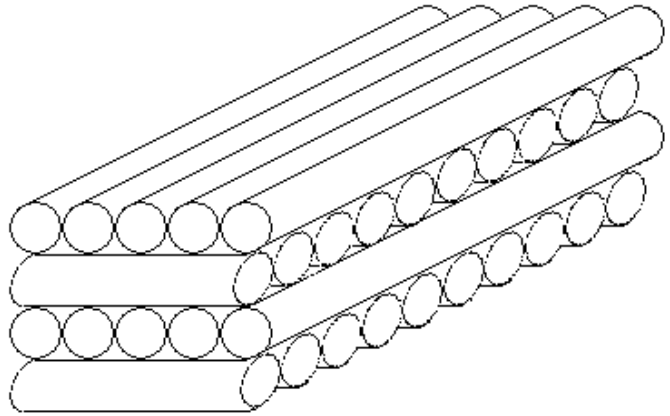
***Наполнители полимеров*** **–** твердые, жидкие и газообразные органические и неорганические вещества, которые распределяются в непрерывной фазе полимера (матрице) с образованием гетерофазной системы с выраженной границей раздела фаз.

| Наполнители | Композиционные материалы |
|---|---|
| Дисперсные | Порошковые – дисперсно-упрочненные КМ |
| Волокнистые | Волокнистые – КМ, армированные непрерывными и дискретными волокнами |
| Листовые | Пластинчатые – слоистые КМ, состоящие из чередующихся непрерывных и дискретных пластин |
| Объемные | Объёмные – КМ, открытопористые каркасные системы |

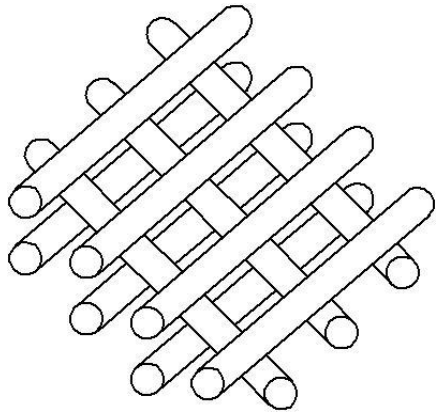
# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО СТРУКТУРЕ АРМИРОВАНИЯ



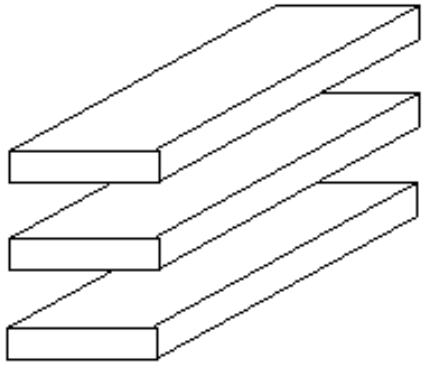
а) Однонаправленная



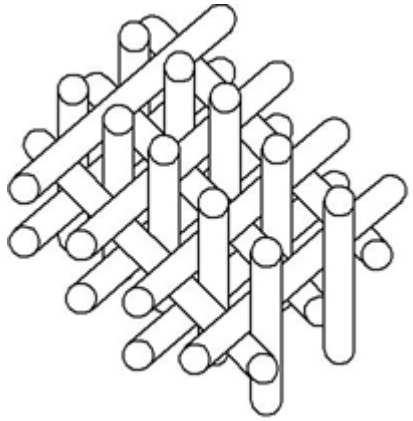
б) Ортогональноармированная структура



в) Косая (перекрестная ) армированная структура



г) Слоистая структура



д) Объемное армирование

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ




**ЭКСТРУЗИОННЫЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ ПЛАСТОМЕТР**

1 – флаг; 2 – кожух для флага, оборудованный оптическим считывателем; 3 – микропроцессор; 4 – поршень, оборудованный устройством для крепления груза и флага; 5 – корпус пластометра; 6 – обрезное устройство для выдавленного материала; 7 – контрольное зеркало для выдавленного материала; 8 – винт




**ВИСКОЗИМЕТР BROOKFIELD**

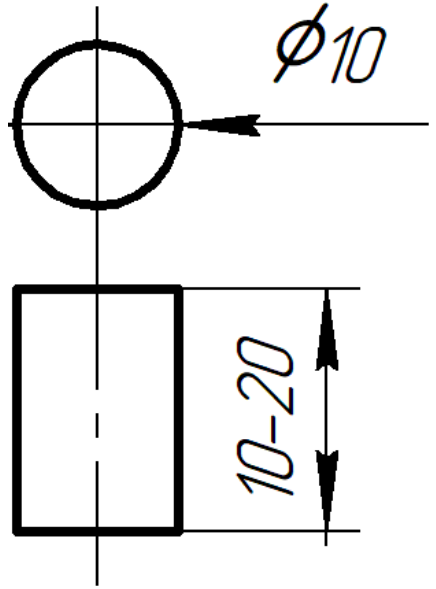
1, 8 – шпиндель; 2 – измерительный сосуд;
3 – регулятор температуры;
4 – вискозиметр Brookfield; 5 – панель отображения данных;
6 – панель настройки данных; 7 – лабораторный штатив;
9 – термоячейка

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИСТИРАНИИ




Установка для испытания полимерных материалов на абразивный износ

**ГОСТ 11012-2017**
**Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ**

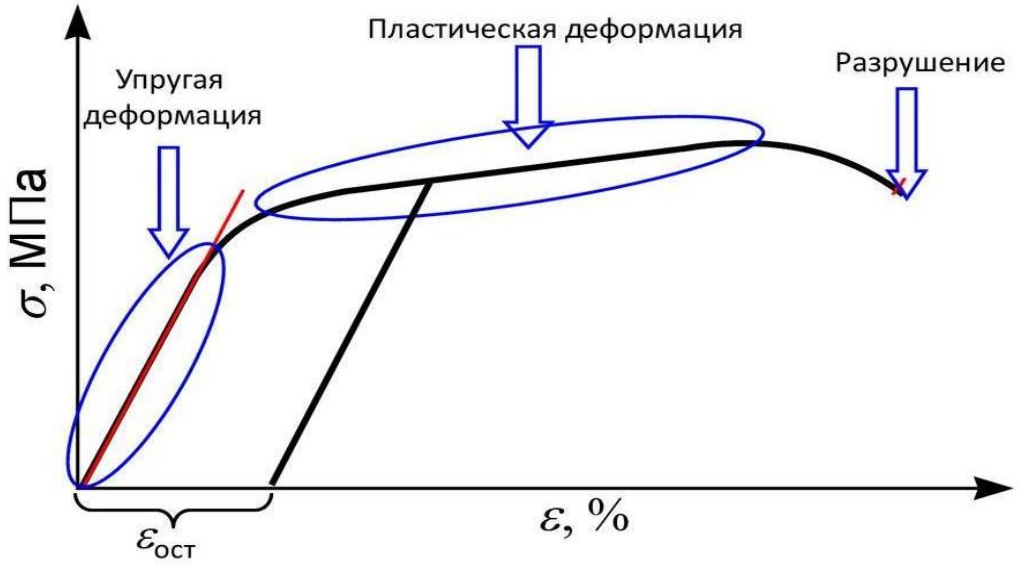



Образец для испытания

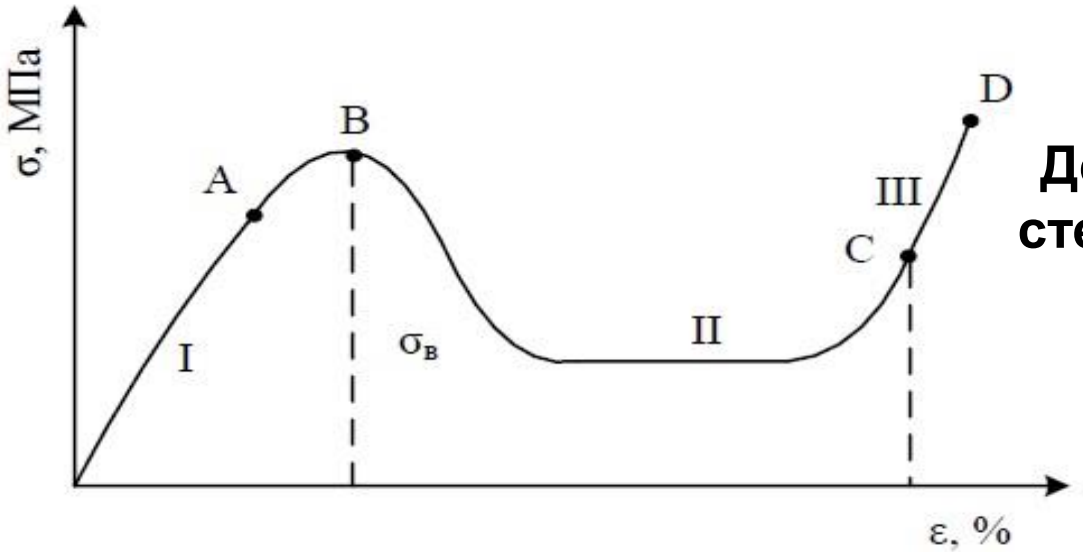
# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ




Разрывная машина Zwick/Roell Z010

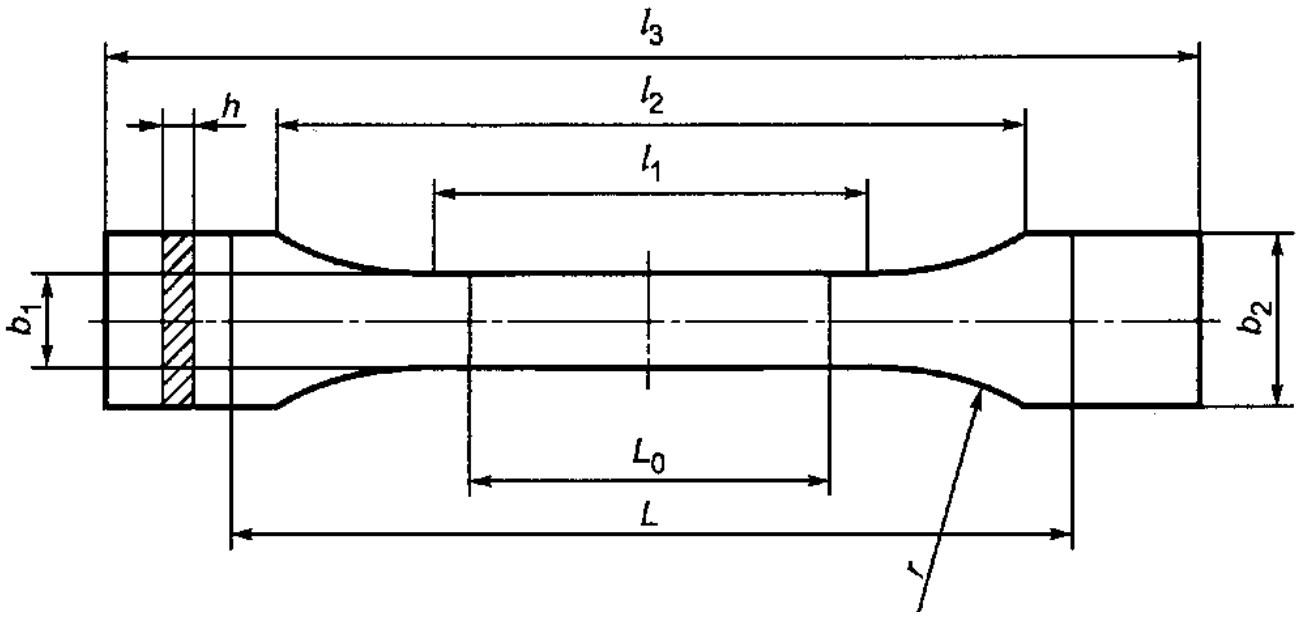



Деформационная кривая в общем виде

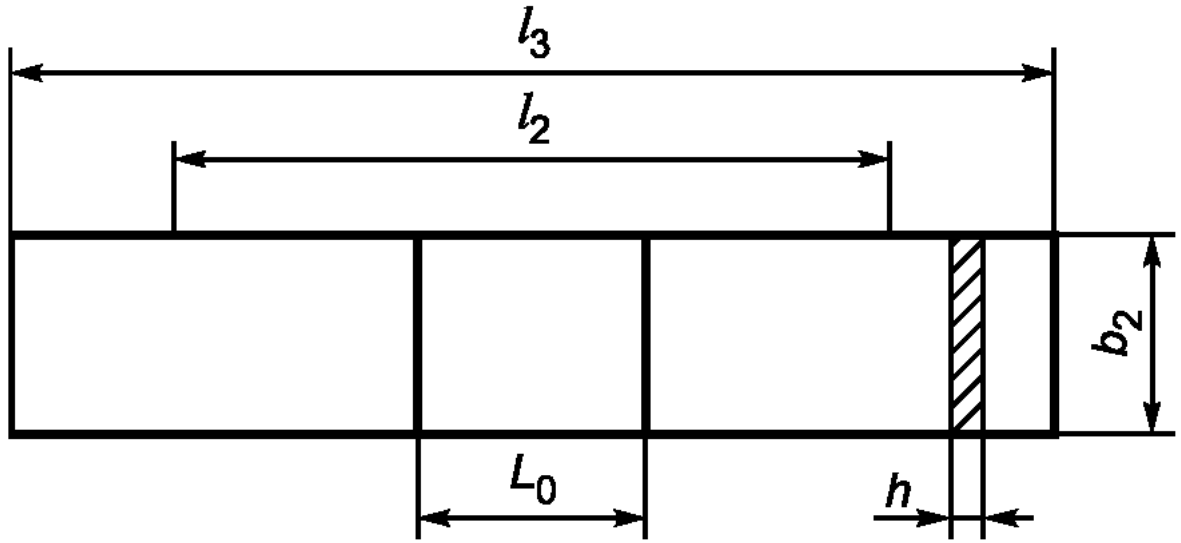



Деформационная кривая стеклообразного полимера

# ГОСТ 11262-2017
# ПЛАСТМАССЫ. МЕТОД ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ



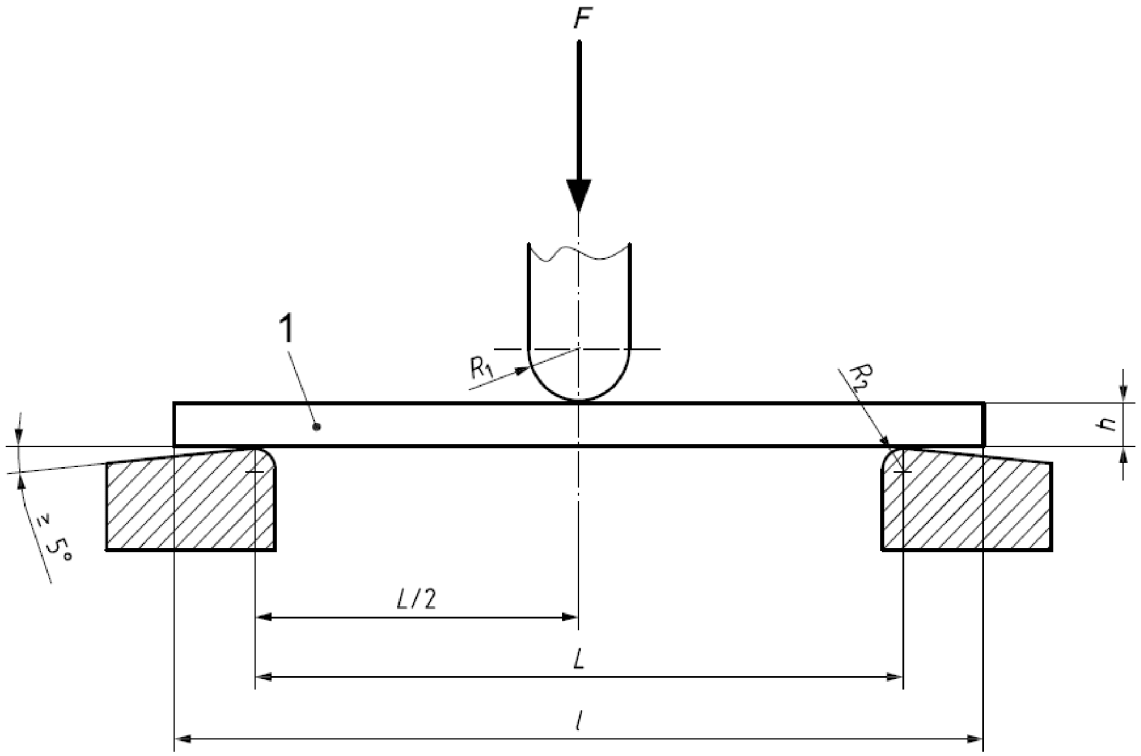

**Рекомендуется использовать образцы типа 1А и 1В, допускается тип 1. Допускается использовать малые образцы типа С, CW, 4 и 5**




**Допускается использовать образцы типа 3**

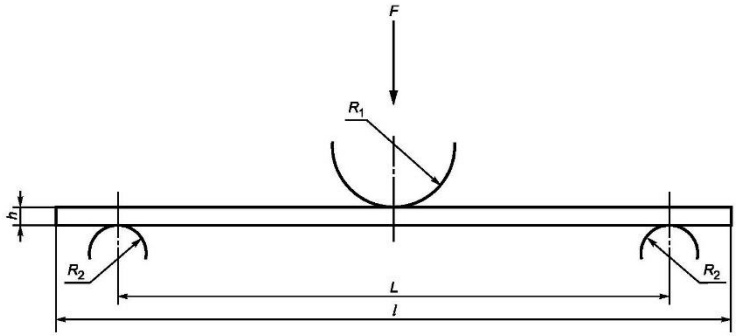
# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

## ГОСТ 4648-2014
## Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб



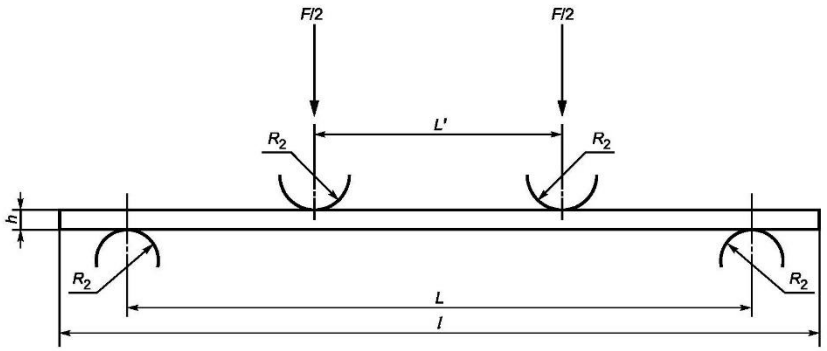

*1* – образец для испытания; *F* – прилагаемая нагрузка; $R_1$ – радиус нагружающего наконечника; $R_2$– радиус опор; *h* – толщина образца; *l* – длина образца; *L* – расстояние между опорами

## ГОСТ Р 56805-2015
## Композиты полимерные. Методы определения механических характеристик при изгибе




*h* — толщина образца, $R_1$ — радиус закругления пуансона, $R_2$ — радиус закругления краев опор, *L* — пролет между опорами, *l* — длина образца

Рисунок 2 — Схема трехточечного нагружения



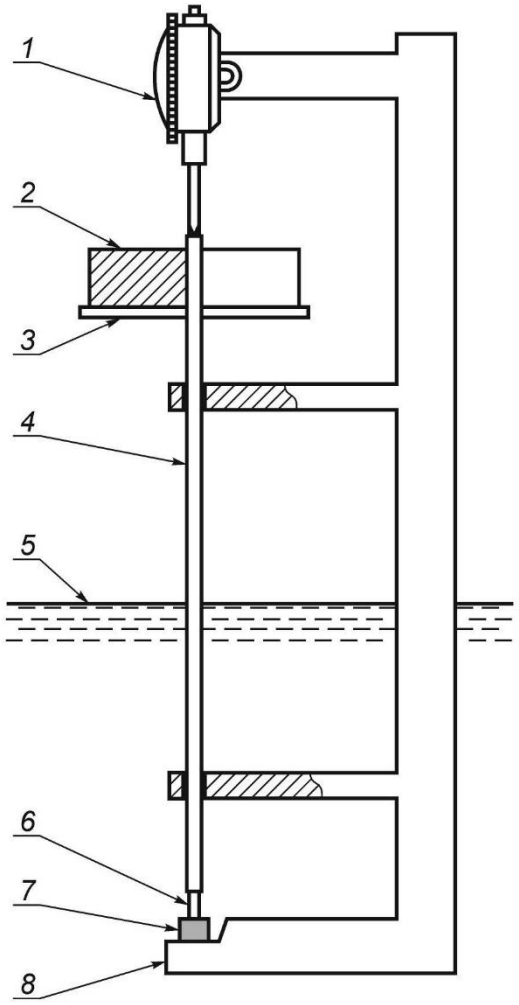

*h* — толщина образца, $R_1$ — радиус закругления пуансона, $R_2$ — радиус закругления краев опор, *L* — пролет между опорами, *L'* — пролет между верхними опорами, *l* — длина образца

Рисунок 3 — Схема четырехточечного нагружения

# ГОСТ 15088-2014
# ПЛАСТМАССЫ. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ ТЕРМОПЛАСТОВ ПО ВИКА




**Прибор для определение теплостойкости полимерных материалов по Вика**

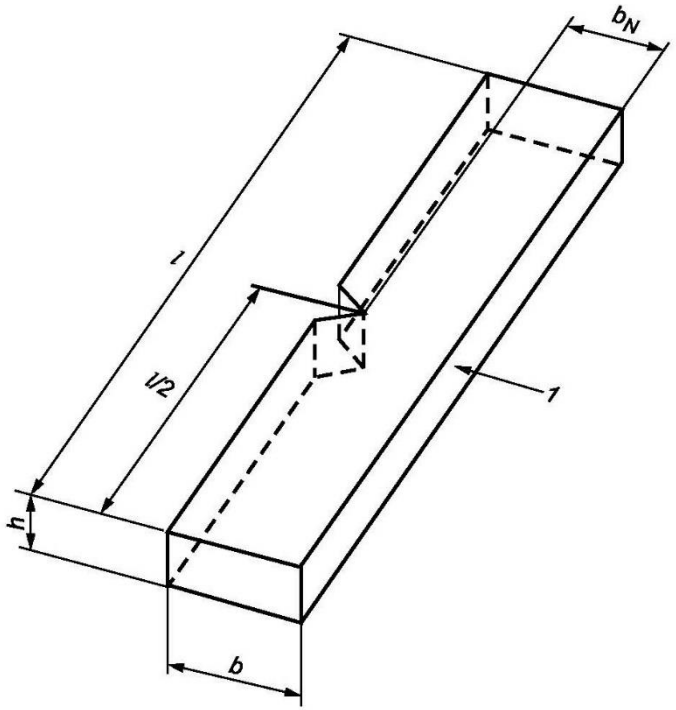



*1* — микрометр с круговой шкалой; *2* — сменный груз; *3* — пластина для расположения груза; *4* — стержень с индентором; *5* — приблизительный уровень жидкости; *6* — индентор; *7* — образец для испытания; *8* — опора для испытуемого образца

# ГОСТ 4647-2015
# ПЛАСТМАССЫ. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПО ШАРПИ

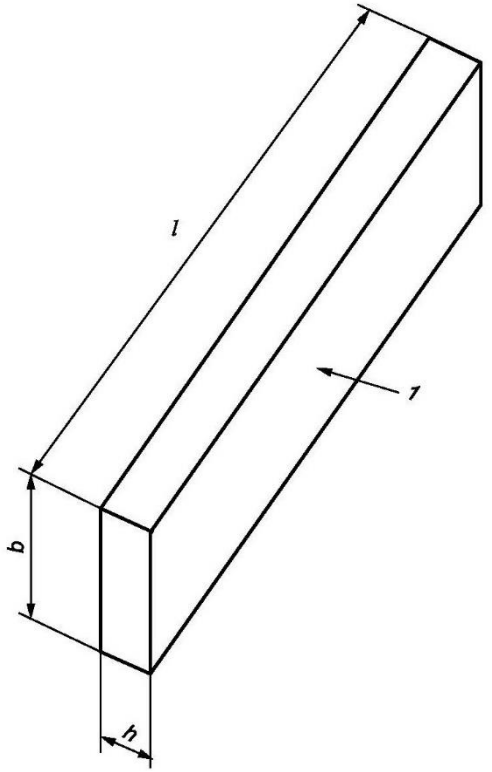


**Маятниковый копер по ГОСТ 10708**




*1* — направление удара

**Схема испытания по Шарпи с ударом в ребро образца с надрезом**



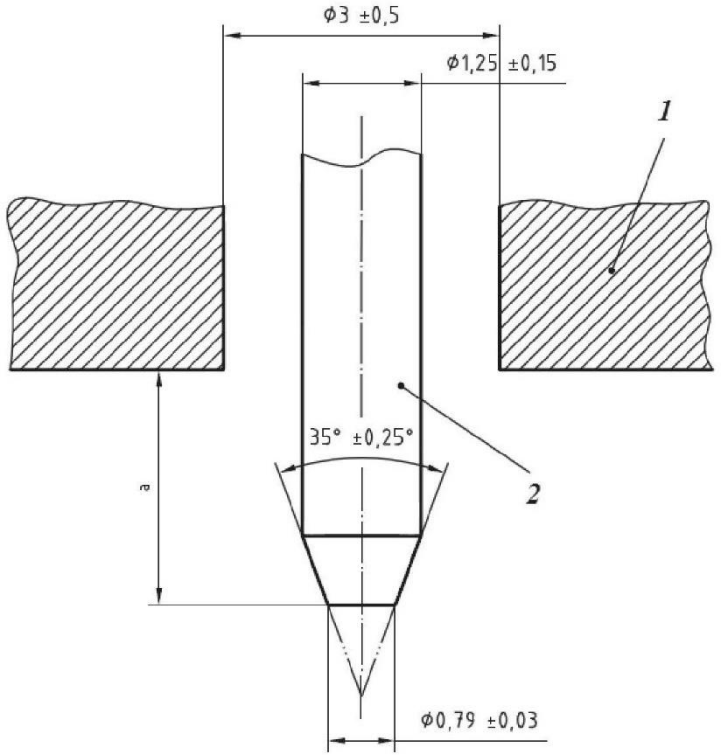

*1* — направление удара

**Схема испытания по Шарпи плашмя**

# ГОСТ 24621-2015
# ПЛАСТМАССЫ И ЭБОНИТ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ С ПОМОЩЬЮ ДЮРОМЕТРА (ТВЕРДОСТЬ ПО ШОРУ)

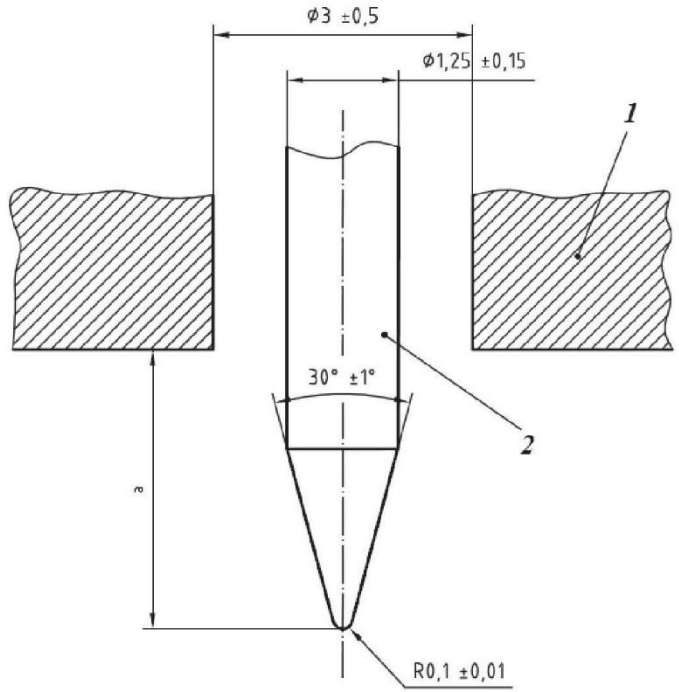



**Прибор для определения твердости по Шору**




*1* — опорная поверхность; *2* — индентор

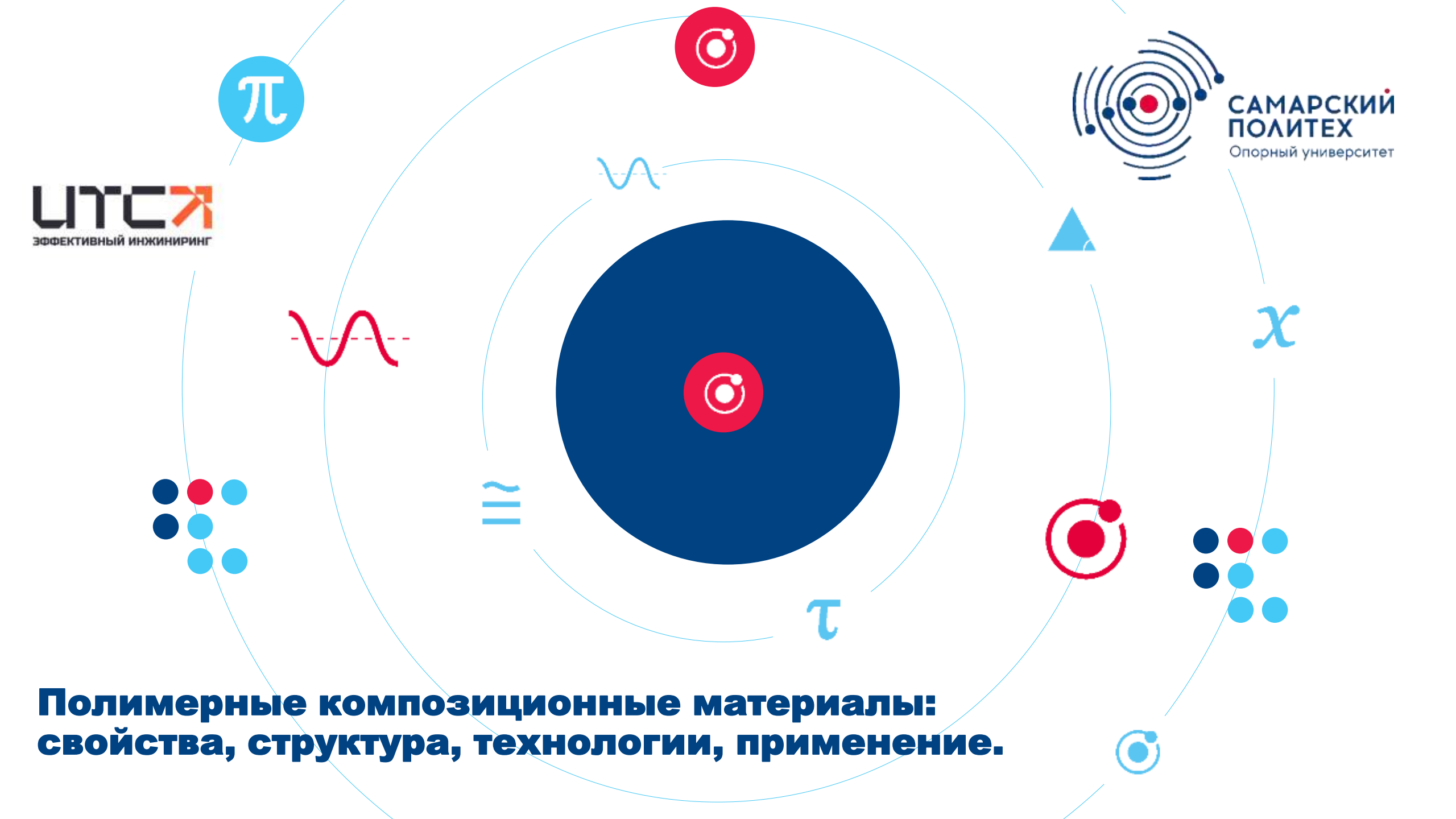
**Индентор типа A**




*1* — опорная поверхность; *2* — индентор

**Индентор типа D**

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Полимерные композиционные материалы: свойства, структура, технологии, применение.

«Наука и техника, подобно литературе и искусству, имеют свои модные фразы и штампы. Одним из самых модных в наше время является выражение ***«композиционные материалы»***, содержащее в новой форме очень старую и простую мысль о том, что совместная работа разнородных материалов дает эффект, равносильный созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих».

**Альберт Дитц, профессор MTI**

***Полимерные композиты*** – «чемпион» среди продуктов химических технологий. Благодаря своим уникальным характеристикам в каждом конкретном случае *–легкости, прочности, стойкости к механическим и химическим воздействиям* – они востребованы различными отраслями промышленности, которые выступают драйверами стимулирования развития рынка полимеров.

Наиболее перспективными и массовыми потребителями выступают строительная индустрия, машиностроение, железные дороги, ЖКХ, электроника, электротехника, ветроэнергетика, упаковка.

Особый спрос на *инженерные пластики*, *покрытия для трубопроводов, клеи-расплавы и термоэластопласты*. Такая широкая востребованность продукции обеспечивает устойчивую тенденцию роста данного сегмента 5–6% в год.

По прогнозам аналитической компании *Markets & Markets* (США), мировой рынок композитов, объем которого в 2022 году составлял 80,2 млрд долл., к 2025 г. вырастет до 116 млрд долл.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



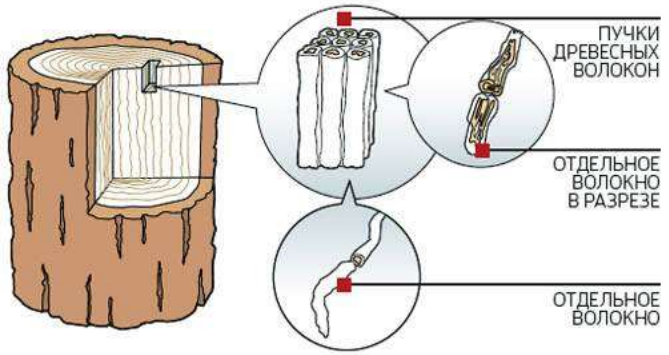
# Немного, совсем немного истории

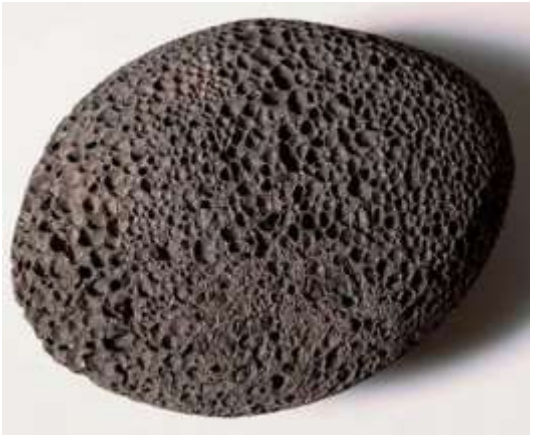
# Немного истории.....

Представление о композиционных материалах заимствовано человеком у природы:







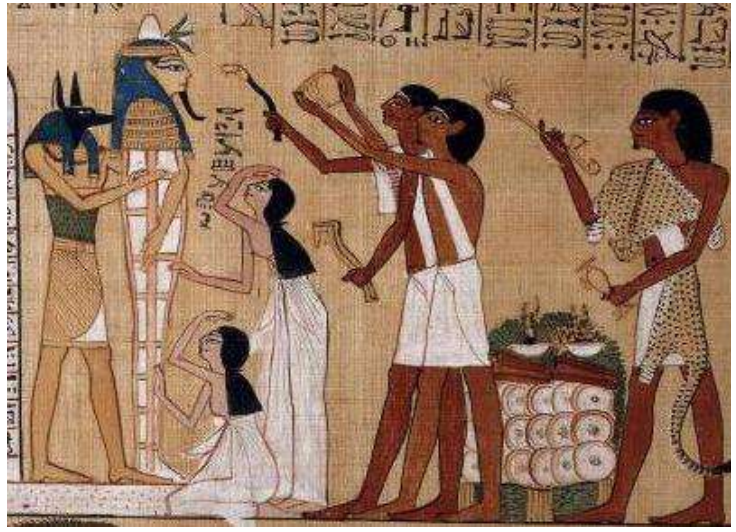
*гранит* (кварц+полевой шпат+слюда);
*древесина* (целлюлоза+лигнин+смолы+воска);
*кость* (кальцит+ жидкая фаза(кровь);
*пемза, туф, пробка* – газонаполненные материалы.

# Немного истории.....

Первые упоминания об армированных строительных материалах можно найти в Библии (Ветхий Завет, Исход, гл.5) *«И сказал фараон:… Не давайте впредь народу соломы для делания кирпича как вчера….А кирпичей наложите на них то же урочное число… и не убавляйте»*.

Даже самые первые, высушенные на солнце *кирпичи,* появившиеся за 5000 лет до н. э., были сложными материалами. В них добавляли *измельченные камни или материалы органического происхождения (солома)*, чтобы уменьшить усадку и растрескивание.

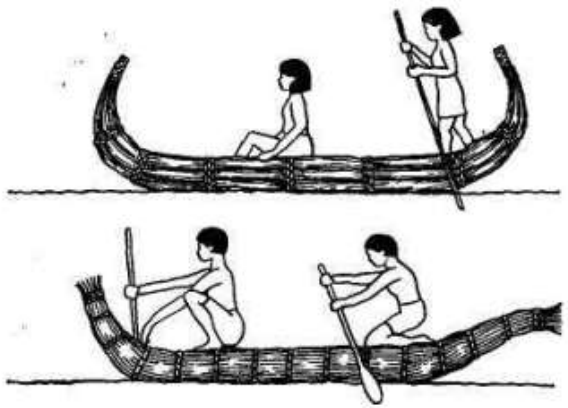




# Немного истории.....

Первые армированные материалы на полимерной основе использовались в Вавилоне в период от 4000 до 2000 лет до н. э. Это были материалы на основе ***армированной битумной смолы***. В Египте и Месопотамии строили речные суда из тростника, пропитанного битумом. По конструкции они аналогичны судам, используемым даже в настоящее время жителями дельты Нила, и их с некоторым допущением можно считать ***предшественниками*** современных судов из стеклопластика.







# Немного истории.....

Искусство *мумифицировния* в Египте можно считать первым примером использования метода ленточной намотки. Тело после соответствующей обработки обматывали лентой из ткани и пропитывали природной смолой. Этот процесс в принципе аналогичен процессу изготовления намоткой современных корпусов ракетных двигателей, антенных обтекателей, емкостей, труб, сосудов, работающих под давлением, несмотря на различие в материалах





# Немного истории.....

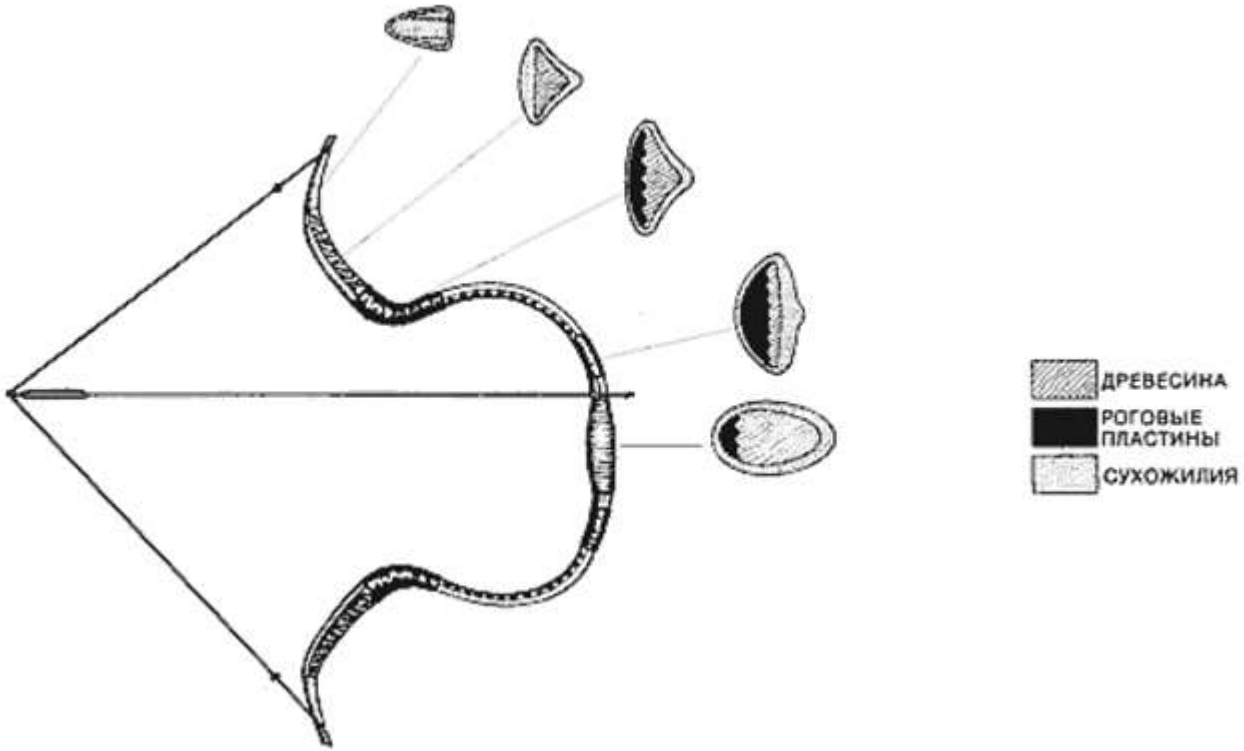
В древней Индии деревянные стволы пушек обматывали лианами и также пропитывали смолами. Процесс отверждения смол доходил до нескольких месяцев, однако полученные результаты – дальность и точность стрельбы, легкость при транспортировке все оправдывали.





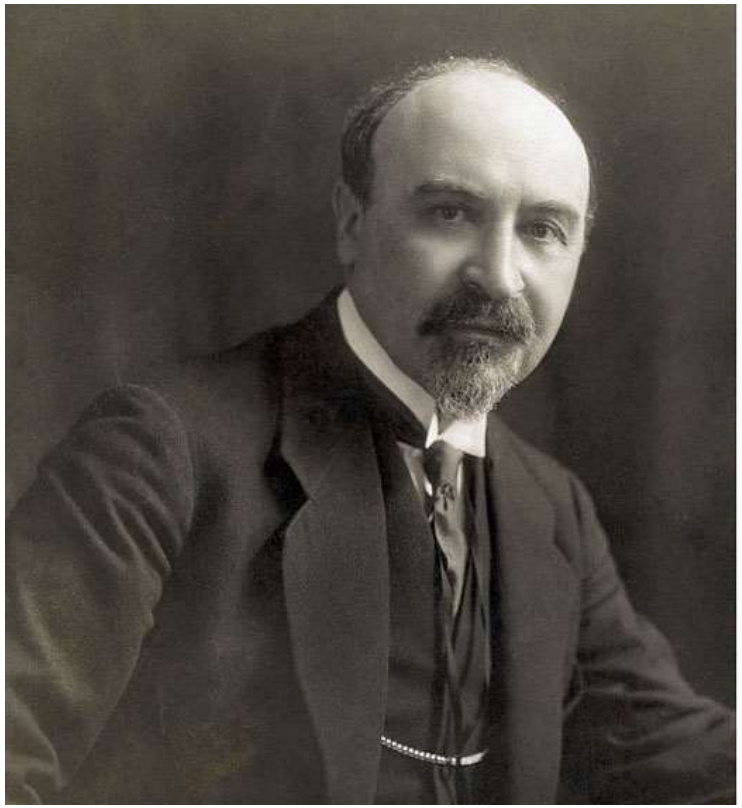
# Немного истории.....

Ярким примером эффективного использования композитов в средние века является применение в войсках Чингисхана двухслойных конструкций лука, наружная и внутренняя части которого собирались из различных пород дерева, а затем обматывались кожей или сухожилиями и склеивались.



# Немного истории.....

В 1907 году бельгийский ученый Лео Хендрик Бакеланд разработал метод промышленного производства фенольных смол типа ***«Баккелит»*** - первых синтетических материалов.







# Немного истории.....



*Бутлеров Александр Михайлович* – синтез изобутилена и изучение его полимеризации



*Кучеров Михаил Григорьевич* – синтез поливинилацетата



*Лебедев Сергей Васильевич* – теория полимеризации непредельных соединений, разработка первого в мире промышленного способа получения синтетического каучука. Под его руководством построен первый завод по производству СК.

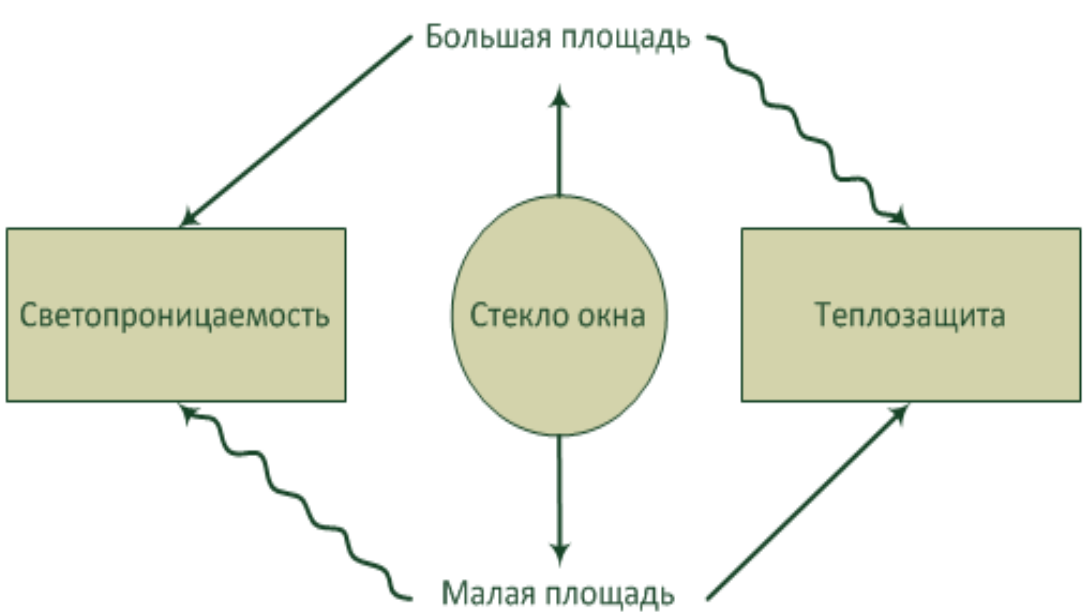
# Немного истории.....

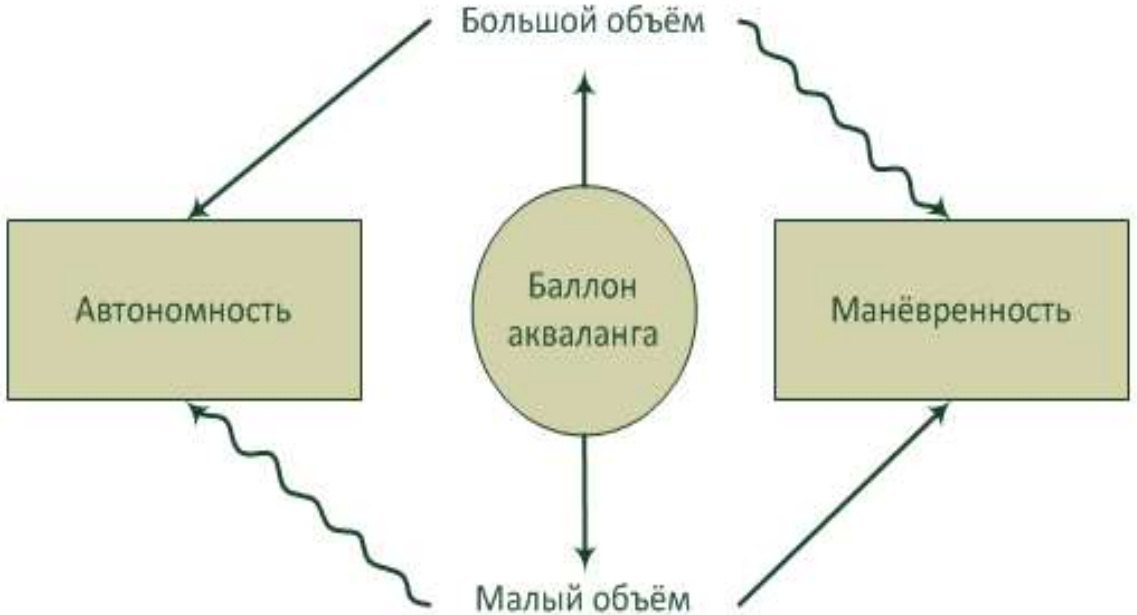
*Петров Григорий Семенович* – в 1913 году открыл новый вид пластмасс «карболит» (фенол - формальдегидная смола, отвержденная в присутствии нефтяных сульфокислот («контакт Петрова»). В 1915 г. в Орехово – Зуево построен первый в России завод пластмасс «Карболит», существующий до сих пор.






Зачастую требования, предъявляемые потребителем к материалам, могут носить ***противоречивый характер***.



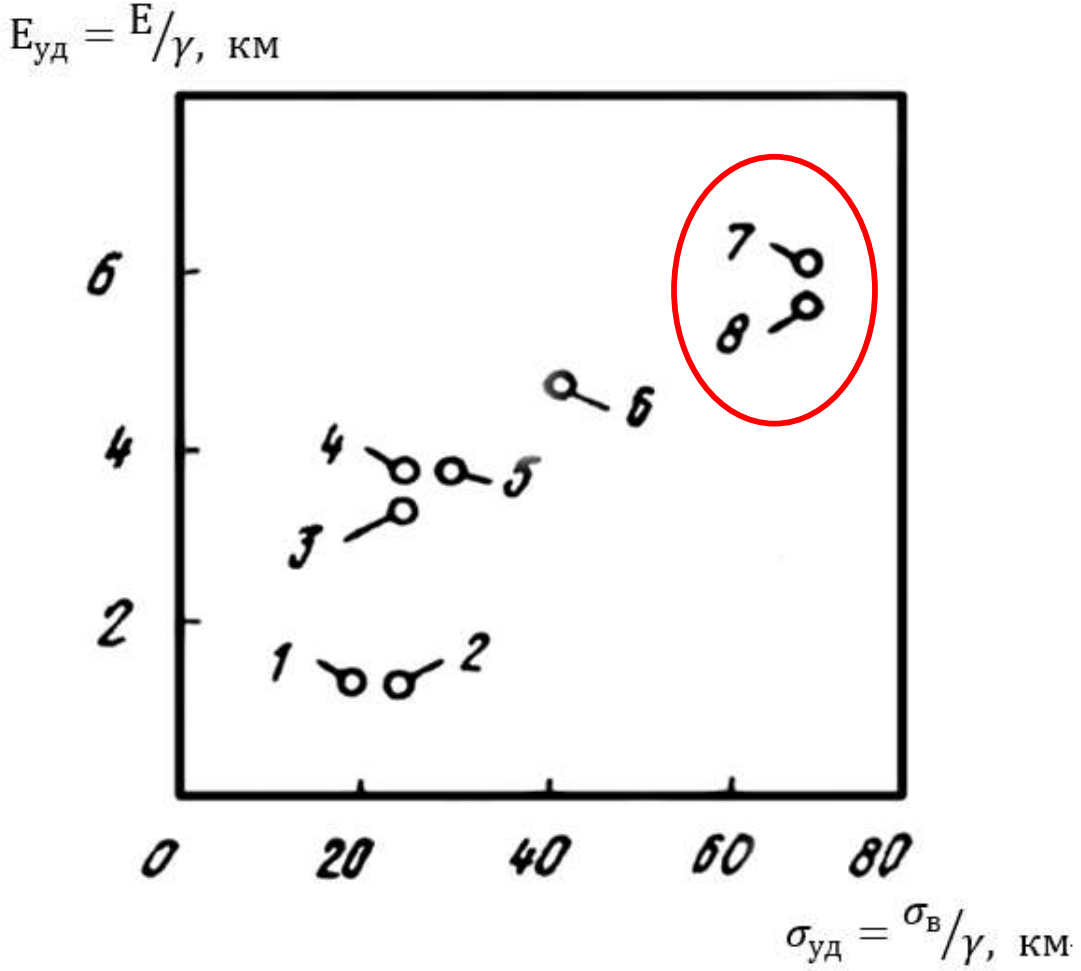




Решение этой задачи как раз и можно осуществить путем использования ***композиционных*** материалов.

***Композиционные материалы (композиты)*** состоят из двух и более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимым. Компоненты существенно отличаются по свойствам, а их сочетание дает *синергический эффект*, который трудно предусмотреть заранее. *Например*: стеклохолст – достаточно хрупкий материал (удельная энергия разрушения 0,68 кг/мм), эпоксидная смола в отвержденном состоянии также достаточно хрупка (удельная энергия разрушения 0,021 кг/мм). Но стеклотекстолит на их основе обладает энергией разрушения уже в 1,7 кг/мм.

# Сравнительные характеристики некоторых конструкционных материалов

| Наименование показателя | Полимер | ПКМ | Сталь | Сплавы Al | Сплавы Ti |
|---|---|---|---|---|---|
| Плотность | 800-2200 | 12-20000 | 6900-8000 | 2500-3000 | 4500-5000 |
| Рабочая температура | -270 +600 | -270 +3000 | -30 +700 | -50 +400 | -100 +700 |
| Модуль упругости | 0,1-10 | 0,01-1000 | 210 | 77 | 110 |
| Прочность | 1-200 | 0,1-4000 | 1760 | 560 | 1050 |
| КЛТР | $1*10^{-4}$ до $5*10^{-4}$ | $0,05*10^{-5}$ до $1*10^{-4}$ | $1,1*10^{-5}$ | $2*10^{-5}$ | $3*10^{-5}$ |
| Электрическое сопротивление | $10^{8}$ - $10^{17}$ | $10^{-5}$ - $10^{19}$ | $10^{-6}$ | $10^{-6}$ | $10^{-2}$ |
| Теплопроводность | 0,12-0,45 | 0,02-200 | 100 | 200 | 10 |




*Взаимосвязь удельной прочности и удельного модуля упругости некоторых материалов, армированных волокнами [50 об. %]:*

*1* — алюминий; *2* — титан и сталь; *3* — титан, армированный бериллиевой проволокой; *4* — титан, армированный волокнами SiC; *5* — титан, армированный волокнами борсика (SiC/B/W); *6* — алюминий, армированный борными волокнами; ***7* — эпоксидная смола, армированная волокнами графита; *8* — эпоксидная смола, армированная борными волокнами**

**Удельные затраты энергии на производство КМ и изделий из них (кВт*час)**

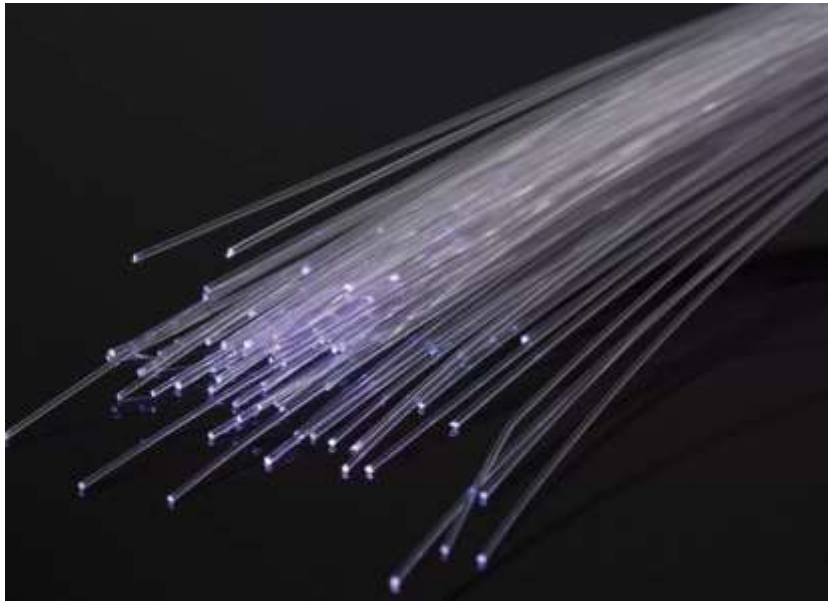
| Материал | Расчет на 1 кг материала | Расчет на 1 кг изделия |
|---|---|---|
| Эпоксиуглепластик | 33,0 | 72,7 |
| Сталь | 35,2 | 220,4 |
| Алюминий | 48,5 | 392,4 |
| Титан | 189,5 | 1543,2 |

Важно и то, что в отходы при изготовлении деталей из полимерных композитов идет не более 10÷30% материала, в то время как у аналогичных деталей из высокопрочных сплавов алюминия и титана, применяемых в авиации, отходы могут в 4÷12 раз превышать массу изделия.

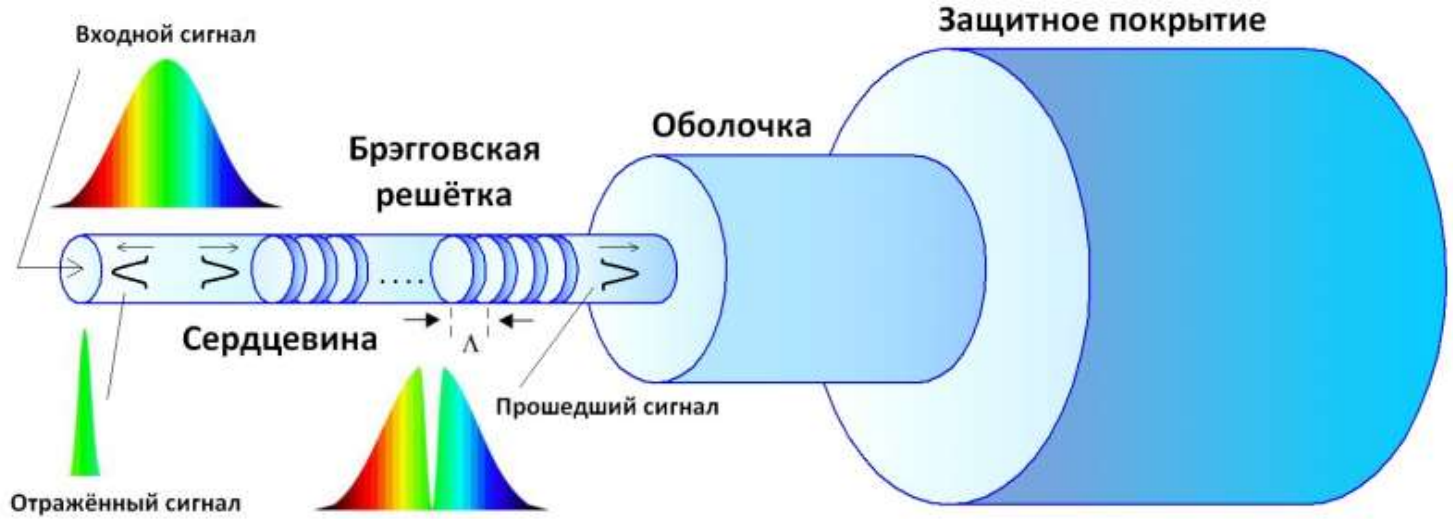
В конце XX в. в материаловедении появился новый термин - ***«интеллектуальный»*** материал. Принятое понятие определяет его как конструкционный материал, способный к ***самодиагностированию*** и ***самоадаптации***. Эти материалы должны уметь *распознавать* возникающую ситуацию (*сенсорная функция*), *анализировать* ее и *принимать решение* (*процессорная функция*), а также *возбуждать* и *осуществлять необходимую реакцию* (*исполнительная функция*).

В настоящее время **не существует** композитов, которые отвечали бы всем перечисленным требованиям. Однако поэтапно эти задачи могут быть решены, прежде всего - задачи по созданию материалов, информирующих о своем состоянии, о приближении эксплуатационных нагрузок к предельно допустимым, о трещинообразовании, химической коррозии, водопоглощении и т. д.

Основным требованием, предъявляемым к *сенсорным* элементам «интеллектуальных» композитов, является чувствительность к механическому состоянию материала и способность распределяться по всему объему. Идеальный сенсор должен превращать деформацию или смещение непосредственно в электрические сигналы. При этом желательно, чтобы сенсорные элементы функционально входили в состав материала и не снижали его физико-механические свойства (например - токопроводящие волокна, которые можно внедрять в структуру композита в процессе его формования).



Оптические волокна передают информацию о месте, где «интеллектуальный композит» перегружен, или где произошло его разрушение. Световоды оборудованы с равными интервалами *решетками Брэгга*, которые отражают определенную длину волн светового спектра. Если оптоволокно деформируется, то длина волн изменяется.




Стекловолокна служат для обнаружения деформаций в материале, а волокна AMF (пластичный металл) выполняют две функции. Когда «интеллектуальный композит» испытывает перегрузку и ломается, вплетенные пластичные металлические волокна позволяют избежать его ослабления. И если по этим волокнам пропустить электрический ток для их нагревания, то происходит эффект вспоминания формы, и композит снова приобретает свою первоначальную форму.



Фирмы, создающие ветряные электрогенераторы, с помощью «интеллектуальных» композитов осуществляют мониторинг состояния лопастей, имеющих диаметр до 100 м и более. Помещенные внутри лопасти оптические волокна позволяют следить за ее структурной целостностью и оценивать нагрузки, действующие на лопасти с тем, чтобы автоматически поддерживать их на оптимальном уровне.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Области применения полимерных композиционных материалов

Применение ПКМ позволяет создавать изделия высокого весового соотношения (отношение веса оболочки к ее объему), т.к. полезная масса, выведенная на околоземную орбиту, составляет лишь несколько процентов от веса ракеты-носителя, соответственно ее стоимость достигает нескольких десятков тысяч долларов за килограмм.

В составе ракетных систем имеется много элементов, выполненных из композитов. Это ***теплозащита реактивных сопел***, изготовленных из углерод-углеродных материалов, ***защитные кожухи***, ***коммуникационные трубы***, ***перегородки, грузовые контейнеры***, ***головные обтекатели.*** Обтекатель состоит из специальных сотовых углепластиковых панелей, изготовленных ручной выкладкой с последующим прессованием в автоклаве. Вес углепластиковой панели на 35% ниже, аналогичной панели из стеклопластика и на 70% чем из титана.

В конструкциях спутников, пилотируемых и непилотируемых космических кораблей, космических станций также имеется много элементов, выполненных из ПКМ - ***защитные кожухи антенн***, ***трубчатые фермы, панели, несущие конструкции теплозащиты, каркасы солнечных батарей, створки люков, перегородки*** и др. Во многих космических аппаратах более 15% веса составляют ПКМ, главным образом углепластики.

С помощью ПКМ на основе углепластиков решаются такие специальные задачи как создание элементов конструкций, сохраняющих свои размеры в широком диапазоне температур. Например, у основания для установки астротелескопа «Спектр Радиоастрон», изготовленного из углепластика, тепловая деформация трубы длиной 2,5 м не превышает 200 мкм в диапазоне от +200 до -200 гр.



Такие конструкции нужны и на земле. Ученые Европейского ядерного центра (*CERN)* в Швейцарии используют размеростабильную опорную конструкцию, на которой установлены 10 тысяч датчиков с точностью позиционирования 50 мкм для проведения экспериментов по регистрации новых элементарных частиц, существование которых предсказано теоретически.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





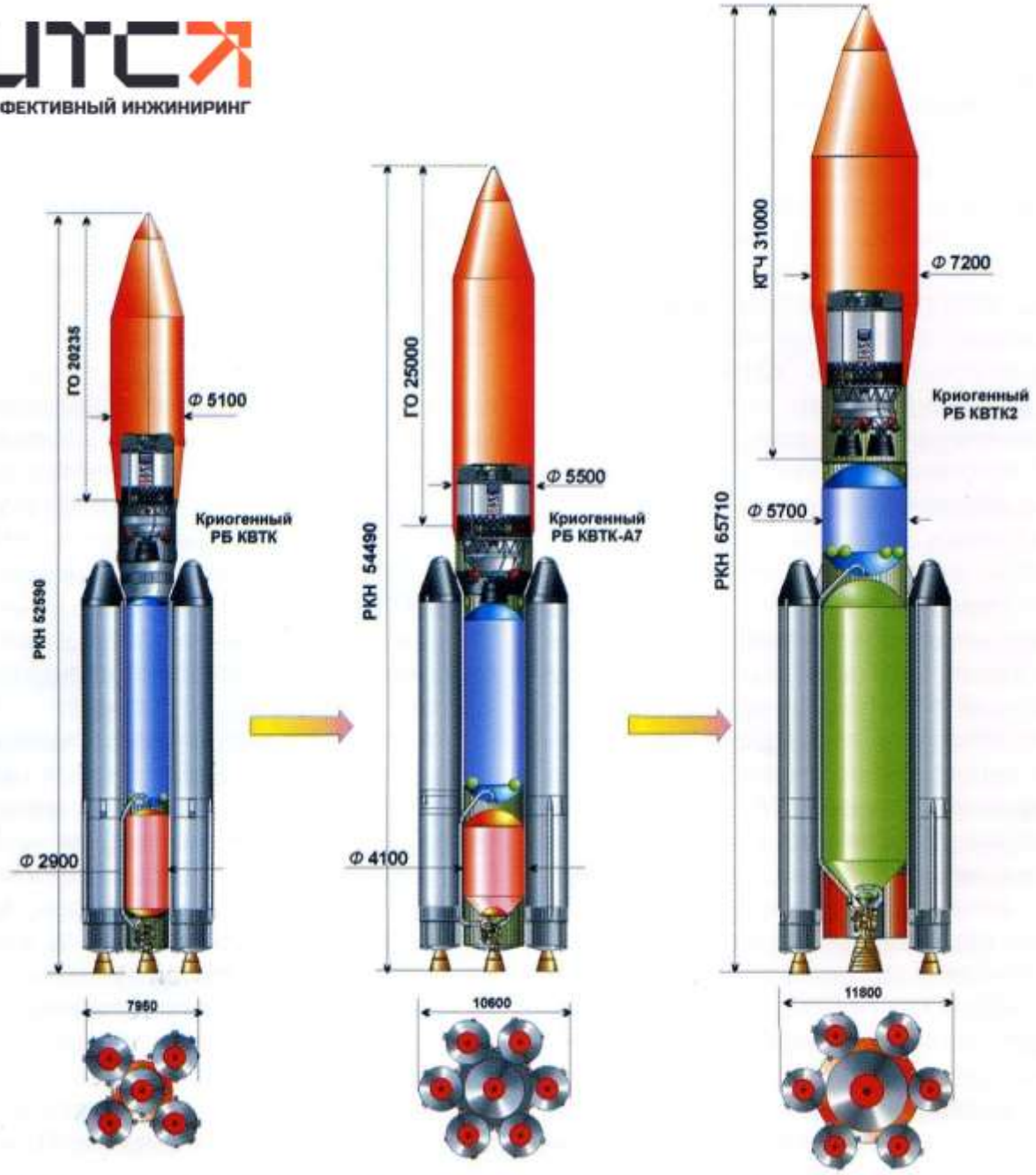
# Транспортно – пусковые контейнеры



ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

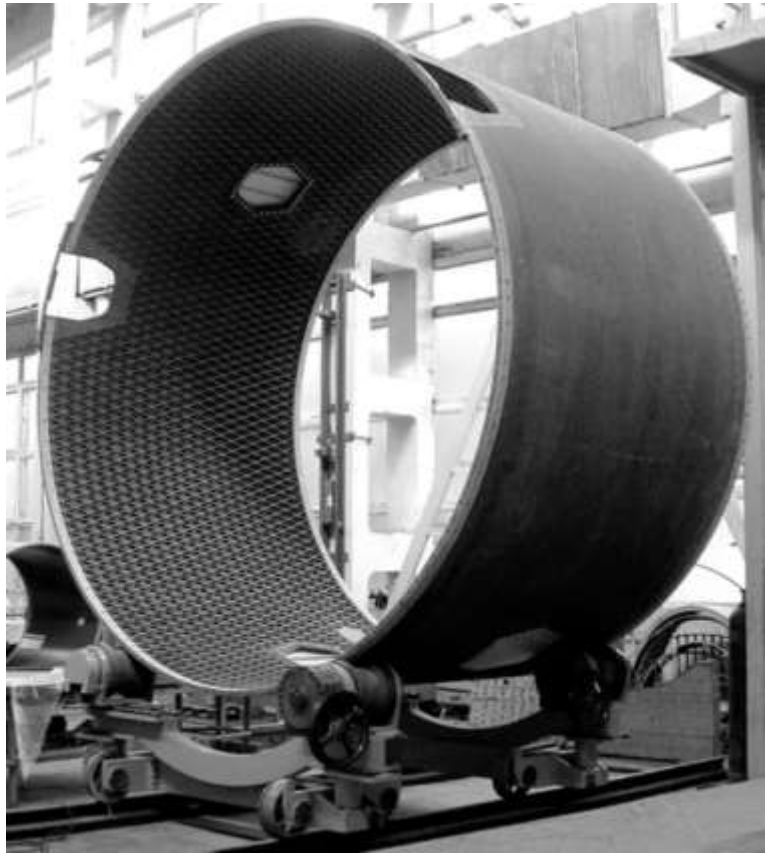
# Межступенчатые ракетные отсеки



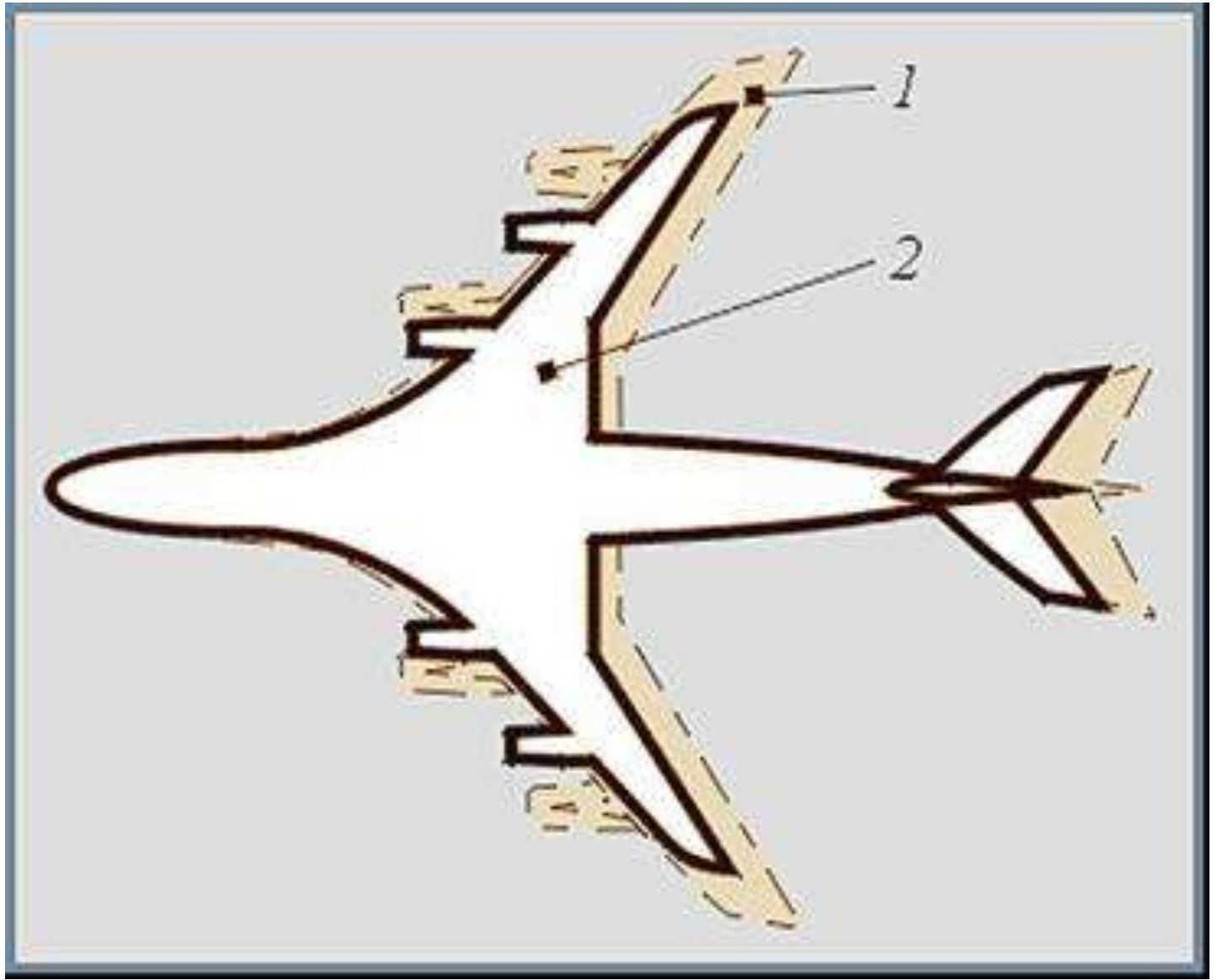

РН 20-тонного класса "Ангара-А5.2"

РН 35-тонного класса "Ангара-А7.2"

РН 50-тонного класса "Ангара-А7.2В"



# Размеры транспортного самолета одной и той же массы с конструкцией из алюминиевых сплавов (2) и из композиционных материалов (1)



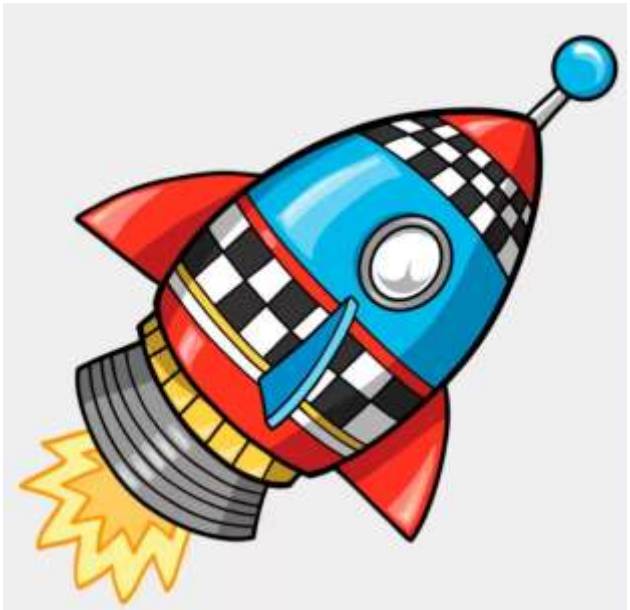
Существенным отличием является то, что ***срок службы*** самолета ***несоизмеримо больше***, чем ракеты. Основные нагрузки на конструкцию ракеты возникают в момент старта не более 5-15 мин и при входе ракеты в плотные слои атмосферы (в случае возвращения аппарата). Самолет же должен пролетать десятки тысяч часов, чтобы оправдать коммерческий проект. Поэтому для авиационных систем важны эксплуатационные характеристики ПКМ: *трещиностойкость, ползучесть, усталость от воздействия температуры и различных атмосферных факторов*.














С 2015 года в Англии выпускается серийно спортивный самолет *GameBird*, который представляет собой двухместный низкоплан построенный **целиком из полимерных композитных материалов** и оснащенный шестицилиндровым двигателем Lycoming 303 л.с.









САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ






САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Автомобиль «Трабант» (ГДР) с корпусом из стеклопластика




ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ



САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# *Ламборгини Carbon Aventador Mansory*

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ



САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Форд Мустанг *GTR* с углепластиковым корпусом

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Углепластиковый капот двигателя
***Шевроле Корвет Z06***



Подвеска двигателя
***Porsche Carrera GT***



Карбоновые колеса
***Ferrari F12berlinetta***



Элементы кокпита
***Мерседес SLR***



Пожалуй, ни в одной области использование ПКМ на основе стеклопластиков не было столь определяющим, как в строительстве маломерных судов - *прогулочных лодок, яхт, катеров*, в которых эти материалы практически полностью заменили дерево и алюминий. Хорошее сопротивление действию водной среды, отсутствие гниения, коррозии, обрастания и других форм разрушения, создание бесшовных конструкций сложной формы и возможность ее многократного воспроизведения, удобство в эксплуатации и простота ремонта - основные преимущества стеклопластиков.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет












«Александр Обухов» — первый в классе минно-тральных кораблей, который построен из ПКМ. Он имеет самый большой в мире корпус из монолитного немагнитного материала, сформированный методом вакуумной интрузии.



САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Большой интерес ПКМ представляют при строительстве судов, имеющих ограничение по массе – *суда на подводных крыльях* и *суда на воздушной подушке*.



В горнолыжном спорте на поворотах в лыжах возникает угловой момент, отрывающий их кант от снега, лыжа начинает вибрировать, и спортсмену приходится дополнительно прикладывать усилия, чтобы не соскользнуть по склону. В конструкции компании ***Head Sport AG*** механическое напряжение передается пьезоэлектрическим волокнам, преобразуя их в электрическое напряжение, которое принимается встроенным в лыжу микрочипом, заставляя волокна растягиваться или сжиматься, создавая противодействующий момент, гасящий вибрацию.



Пьезоэлектрические волокна, встроенные в рукоятку теннисной ракетки, гасят вибрации, возникающие при ударе по мячу, за счет чего рука теннисиста меньше устает.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет












ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет








ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет









| Основные мировые сегменты рынка | Потребление ПКМ в мире | | Потребление ПКМ в РФ | |
|---|---|---|---|---|
| | 2010 г. | 2022 г. | 2010 г. | 2022 г. |
| Транспорт | 4% | 28% | <0,5% | 15% |
| Морские суда | 38% | 45% | 1,0% | 2,5% |
| Авиация и космос | 10% | 28% | ~7% | 18% |
| **Трубопроводный транспорт** | **8%** | **15%** | **<0,5%** | **42%** |
| Строительство | 6% | 36% | 8,1% | 17% |
| Ветроэнергетика | 28% | 38% | 0,1% | 2,0% |

Таким образом, начало технологии композиционных материалов уходит в античные времена, а *комбинирование* материалов с различными свойствами остается наиболее важным путем создания новых материалов с *уникальными свойствами* в настоящее время.

**Единой классификации** композиционных материалов на сегодняшний день не существует.

Это объясняется тем, что КМ представляют широкий класс материалов, объединяющий металлы, полимеры и керамику.

Наиболее часто используется классификация композиционных материалов, в основу которой положено их деление по ***материаловедческому*** признаку (по материалу матрицы).

***Классификация КМ по материалу матрицы***

Наиболее важным признаком классификации КМ является материал матрицы.

КМ с металлической матрицей называют металлическими композиционными материалами (МКМ), ***с полимерной матрицей – полимерными композиционными материалами (ПКМ)***, с керамической – керамическими композиционными материалами (ККМ). КМ, содержащие два и более различных по составу матричных материала, называют полиматричными.

Название *ПКМ* обычно состоит из двух частей. В первой части называется материал наполнителя, во второй приводится слово «пластик», или «волокнит». Например, полимерные композиты, армированные стекловолокном, называются *стеклопластиками (стекловолокнитами)*; металлическими волокнами – *металлопластиками* (*металловолокнитами*), органическими волокнами – *органопластиками* (*органоволокнитами*), борными волокнами – *бороп*ластиками (*бороволокнитами*), углеродными волокнами – *углепластиками* (углеволокнитами), асбестовыми волокнами – *асбопластиками* (асбоволокнитами).

# *Классификация КМ по геометрии армирующих элементов*

| Армирующие элементы | Композиционные материалы |
|---|---|
| Порошки | Порошковые – дисперсно-упрочненные КМ |
| Волокна | Волокнистые – КМ, армированные непрерывными и дискретными волокнами |
| Пластины | Пластинчатые – слоистые КМ, состоящие из чередующихся непрерывных и дискретных пластин |

## *Классификация КМ по структуре и расположению компонентов*

В соответствии с этой классификацией КМ делятся на группы с *матричной, слоистой, каркасной и комбинированной структурой.*

*Матричную* структуру имеют дисперсно-упрочненные и армированные КМ.

К материалам со *слоистой структурой* относятся композиции, полученные из набора чередующихся слоев или листов материалов различной природы и состава (фольга, бумага, ткань и т.д.).

К композиционным материалам с *каркасной структурой* относятся материалы, полученные методом пропитки.

Комбинированную структуру имеют материалы, содержащие комбинации всех трех групп.

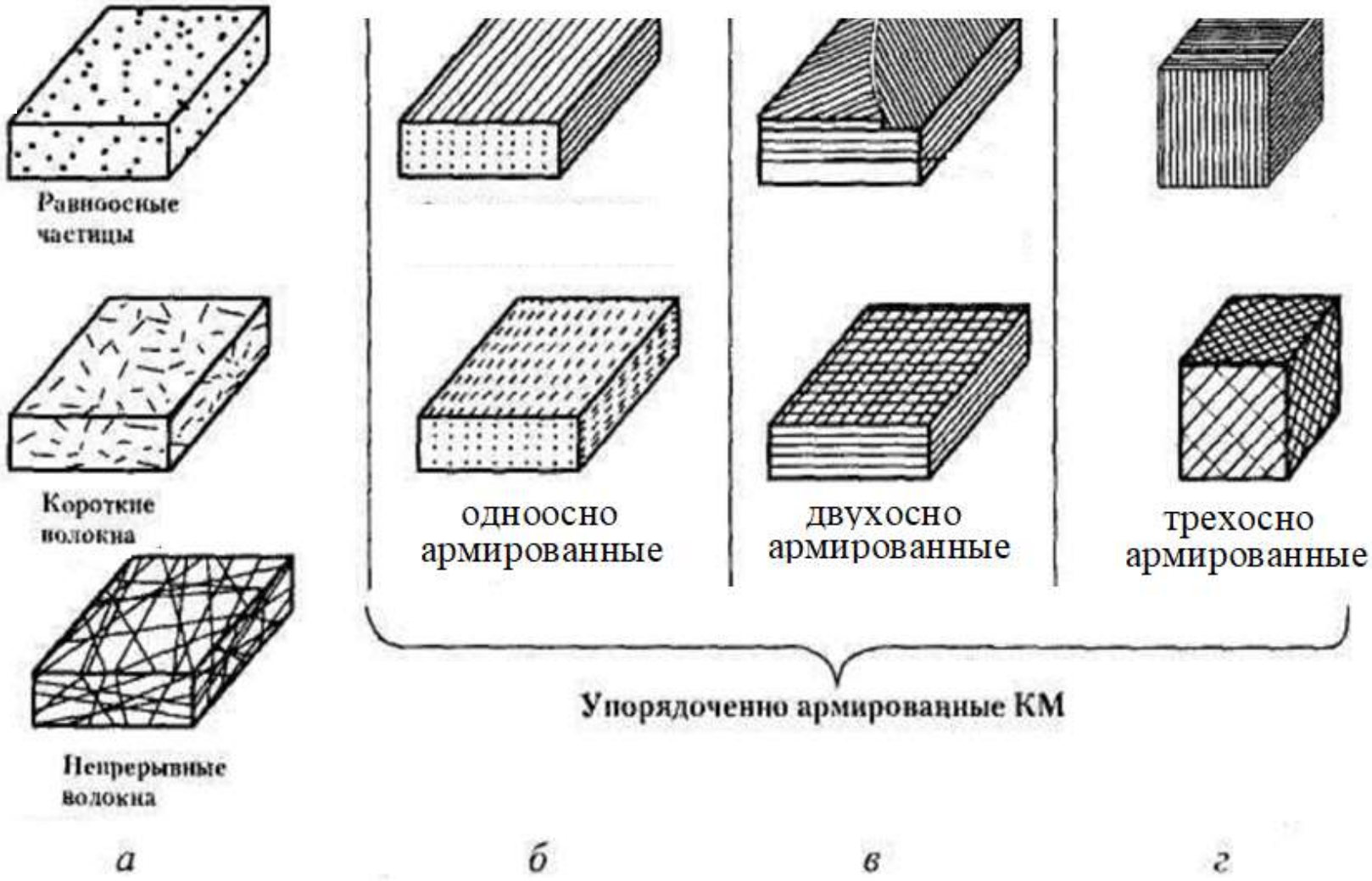
***Классификация КМ по схеме армирования (конструкционный принцип)***

По ориентации и типу арматуры все КМ можно разделить на две группы – *изотропные* (имеют одинаковые свойства во всех направлениях) *и анизотропные* (свойства материалов зависят от направления в исследуемом объекте).

КМ с матричной структурой делятся на *хаотично-армированные и упорядоченно-армированные*.

*Хаотично-армированные* КМ содержат армирующие элементы в виде дисперсных включений, дискретных или непрерывных волокон. Эти материалы являются изотропными.

*Упорядоченно-армированные* КМ подразделяются на однонаправленные, т.е. одноосно армированные, двухосно-армированные (с плоскостным расположением арматуры) и трехосно-армированные (с объемным расположением арматуры).




*Классификация композиционных материалов по конструкционному признаку: хаотично- (а), одномерно- и пространственно армированные (б – г)*

***Классификация КМ по методам получения (технологический принцип)***

В соответствии с этой классификацией КМ делятся на материалы, полученные жидкофазными и твердофазными методами, а также методами осаждения – напыления и комбинированными методами.

К *жидкофазным методам* относятся **пропитка** (пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами).

К *твердофазным методам* получения КМ относятся прокатка, **экструзия**, ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др.

При получении КМ *методами осаждения – напыления* матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т. п.

*Комбинированные методы* заключаются в последовательном или параллельном применении нескольких методов.

## *Классификация КМ по назначению (эксплуатационный принцип)*

Классификация КМ по назначению достаточно условна, поскольку часто композиты являются многофункциональными материалами. Тем не менее, среди множества КМ выделяют материалы:

- *общеконструкционного назначения*;
- *жаропрочные материалы*;
- *термостойкие материалы*;
- *фрикционные материалы* и *антифрикционные материалы*;
- *ударопрочные материалы*;
- *теплозащитные материалы*;
- *материалы со специальными свойствами*.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Важнейшие типы полимерных ПКМ технического назначения



ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ХиМиК
сайт о химии

# Связующее

***Связующее*** – полимерный материал обеспечивающий монолитность композита и передачу нагрузки между компонентами системы.

Полимерную *матрицу* для КМ выбирают, учитывая условия эксплуатации изделий. От материала матрицы значительно зависят свойства композита: прочность, тепло- и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, а также метод получения изделия.

Полимеры в качестве матрицы используют либо *в чистом виде* (порошки, гранулы, листы, пленки), либо *в виде связующих* (непрерывная фаза, обеспечивающая связанность отдельных элементов и сплошность материала как целого).

При производстве армированных пластиков чаще применяют *термореактивные* связующие, при нагревании которых происходят необратимые структурные и химические превращения, но непрерывно расширяется и использование *термопластов* и *эластомеров*.

При использовании в качестве *связующих термопластичных полимеров* для регулирования скорости и качества *пропитки* наполнителя в состав связующего могут входить:

- *растворители*, *разбавители* (в том числе активные);
- *пластификаторы*;
- *поверхностно-активные вещества* (смачиватели);
- *аппреты* (вещества или составы, наносимые на изделия при отделке (*аппретуре*) для придания им требуемых свойств (жесткость, блеск, эластичность). В качестве аппретов могут использоваться крахмал, мыла, эфиры целлюлозы, синтетические смолы, жиры и т.д.;
- *стабилизаторы* (для защиты от термической и термоокислительной деструкции) и др.

Важнейшей задачей связующего при приготовлении изделия является равномерное распределение всех компонентов по объему.

Использование в качестве связующего *термореактивных олигомеров* и *полимеров* предполагает включение в их состав веществ, которые позволяют регулировать технологические свойства как на *стадии пропитки* (текучесть, деформация), так и на *стадии отверждения* (скорость и глубина отверждения, степень конверсии реакционно-способных групп, экзотермический эффект).

К их числу относятся: *разбавители, загустители, инициаторы, ускорители полимеризации, катализаторы поликонденсации* и др. в соответствии с особенностями конкретного вида связующего.

Поэтому процессы приготовления этих связующих достаточно сложны, многостадийны и требуют особого внимания для получения высоких характеристик ПКМ.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ХиМиК
сайт о химии

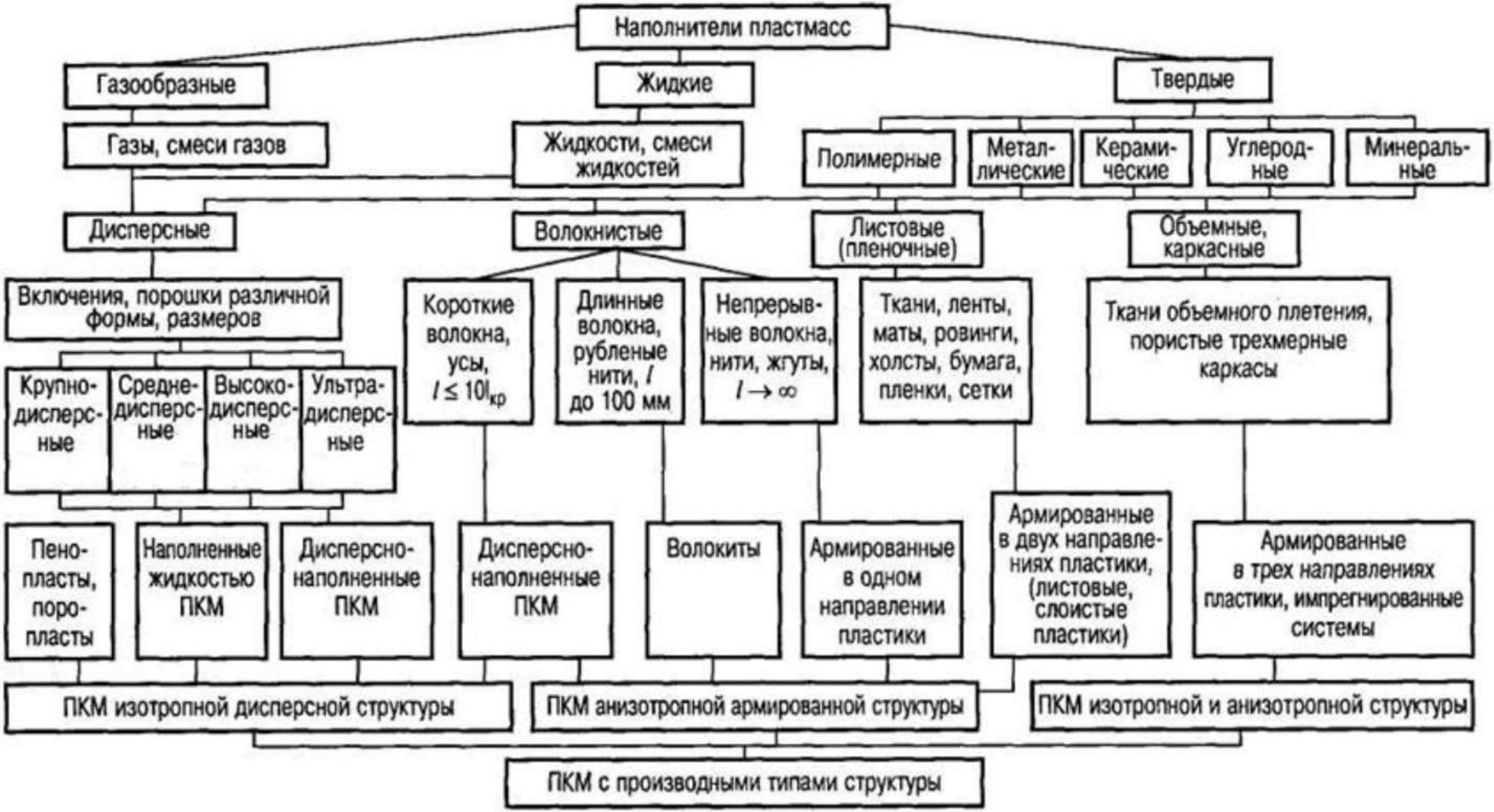
# Наполнители

Вещества или материалы, которые вводят в состав полимерных композиционных материалов (пластмасс, резин, клеев, герметиков, компаундов, лакокрасочных материалов) с целью модификации эксплуатационных свойств, облегчения переработки, а также снижения их стоимости.

*Наполнители* - преимущественно твердые вещества, естественного (минерального или растительного) и искусственного происхождения. К наполнителям относят также газы в пенопластах и жидкости, напр. масла в маслонаполненных каучуках.

*Наполнители вводят в полимеры с целью:* создания новых полимерных материалов с комплексом ценных эксплуатационных свойств; улучшения технологических свойств и перерабатываемости наполненных полимеров; удешевления материалов; утилизации отходов и решения экологических задач; получения декоративных эффектов.

Основные виды наполнителей: *дисперсные* (мел, асбест, гидроксид алюминия, тальк и др.), *волокнистые* (металлические, стеклянные, углеродные, борные, органические, керамические и др.), *листовые* (ткани, бумага, древесный шпон, ленты, холсты, сетки, нетканые материалы), *объемные* (объемные ткани, каркасные системы), *жидкие* (масло), *газообразные*.


Наполнители пластмасс
Газообразные
Жидкие
Твердые
Газы, смеси газов
Жидкости, смеси жидкостей
Полимерные
Метал-лические
Керами-ческие
Углерод-ные
Минераль-ные
Дисперсные
Волокнистые
Листовые (пленочные)
Объемные, каркасные
Включения, порошки различной формы, размеров
Короткие волокна, усы, $l \leq 10l_{кр}$
Длинные волокна, рубленые нити, $l$ до 100 мм
Непрерывные волокна, нити, жгуты, $l \to \infty$
Ткани, ленты, маты, ровинги, холсты, бумага, пленки, сетки
Ткани объемного плетения, пористые трехмерные каркасы
Крупно-дисперсные
Средне-дисперсные
Высоко-дисперсные
Ультра-дисперсные
Пено-пласты, поро-пласты
Наполненные жидкостью ПКМ
Дисперсно-наполненные ПКМ
Дисперсно-наполненные ПКМ
Волокиты
Армированные в одном направлении пластики
Армированные в двух направлениях пластики, (листовые, слоистые пластики)
Армированные в трех направлениях пластики, импрегнированные системы
ПКМ изотропной дисперсной структуры
ПКМ анизотропной армированной структуры
ПКМ изотропной и анизотропной структуры
ПКМ с производными типами структуры

При разработке необходимой структуры дисперсно-наполненного материала необходимо иметь данные об основных характеристиках наполнителя:

- *форма частиц;*
- *размер и распределение частиц по размерам;*
- *удельная поверхность (общая, внутренняя);*
- *пористость частиц;*
- *насыпная и истинная плотность;*
- *максимальная объемная доля;*
- *pH поверхности частиц.*

Наполнители в виде волокон, нитей, жгутов, ровингов используют для создания конструкционных, высокопрочных, армированных полимерных материалов. Эффективность волокон в пластике возрастает с увеличением их длины.

Существует понятие *критической длины волокна* $l_{кр}$. Это такая длина ($l$) волокна, до которой напряжение, воспринимаемое собственно волокном в пластике, возрастает и при $l$ равной $l_{кр}$ становится равным прочности волокна.

При разрушении пластика, наполненного волокном с $l<l_{кр}$, наблюдается выдергивание коротких волокон из полимерной матрицы, т. е. пластик разрушается по границе волокно – полимер. Волокна с $l > l_{кр}$ сами разрушаются и полностью реализуют свою прочность в полимерной матрице. Критическая длина волокон в зависимости от их природы меняется от 100 мкм (углеродные волокна) до 400 мкм (стеклянные волокна).

Значения $l_{кр}$ (мм) стеклянных волокон (диаметр волокна $d$ ~ 10 мкм) для различных полимерных матриц различны: для ПЭ – 1,8; ПП – 0,6; ПС – 0,36; ПА – 0,26; отвержденной ЭС – 0,15.

Листовые (пленочные) наполнители в виде *тканей* различного плетения (сатиновое, саржевое, полотняное), *бумаги, древесного шпона, лент, холстов, сеток* и *нетканых материалов* используют для получения слоистых пластиков, из которых наибольшее распространение получили текстолиты. Широко используются хлопчатобумажные и синтетические ткани. Самыми распространенными наполнителями являются стекло- и углеродные ткани и материалы на их основе – стеклотекстолиты и карботекстолиты. Природу волокна, вид плетения, массу 1 $м^2$, пористость листовых наполнителей выбирают в зависимости от требований, предъявленных к изделиям.

К объемным наполнителям пластмасс относятся объемные ткани, открытопористые каркасные системы, структура которых непрерывна в трех направлениях. Открытопористая объемная структура наполнителя формируется в процессе ткачества, либо путем вспенивания или спекания порошков металлов, керамик и полимеров. Природная древесина также может быть использована в качестве объемного наполнителя.

К основным характеристикам таких наполнителей относятся объемная масса, общая, закрытая и открытая пористость и размер пор.

При заполнении пор каркасного наполнителя полимерным связующим формируется *взаимопроникающая структура материала*. Свойства таких систем в зависимости от концентрации наполнителя в разных направлениях могут быть изотропными или анизотропными и определяются свойствами исходных компонентов, их соотношением и степенью пропитки.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ХиМиК
сайт о химии

# Премиксы

*Премиксы* – полуфабрикаты в производстве изделий из дисперсно – наполненных полимерных композиционных материалов. Представляют собой тестообразные смеси жидкого связующего (чаще всего - смолы) (20-30%), рубленого волокна (5-35%), минерального дисперсного наполнителя (30-60%) и различных добавок (смазки, загустители, модификаторы, красители и т.д.).

Для снижения усадки *премиксов* на основе смол в них могут вводится ограниченно растворимые в них термопластичные полимеры (до 10%).

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ХиМиК
сайт о химии

# Препреги

*Препреги* – полуфабрикаты в производстве изделий из армированных полимерных композиционных материалов.

Представляют собой волокнистые наполнители, пропитанные *термореактивным* или *термопластичным* связующим (пропитка, промазка, напыление).

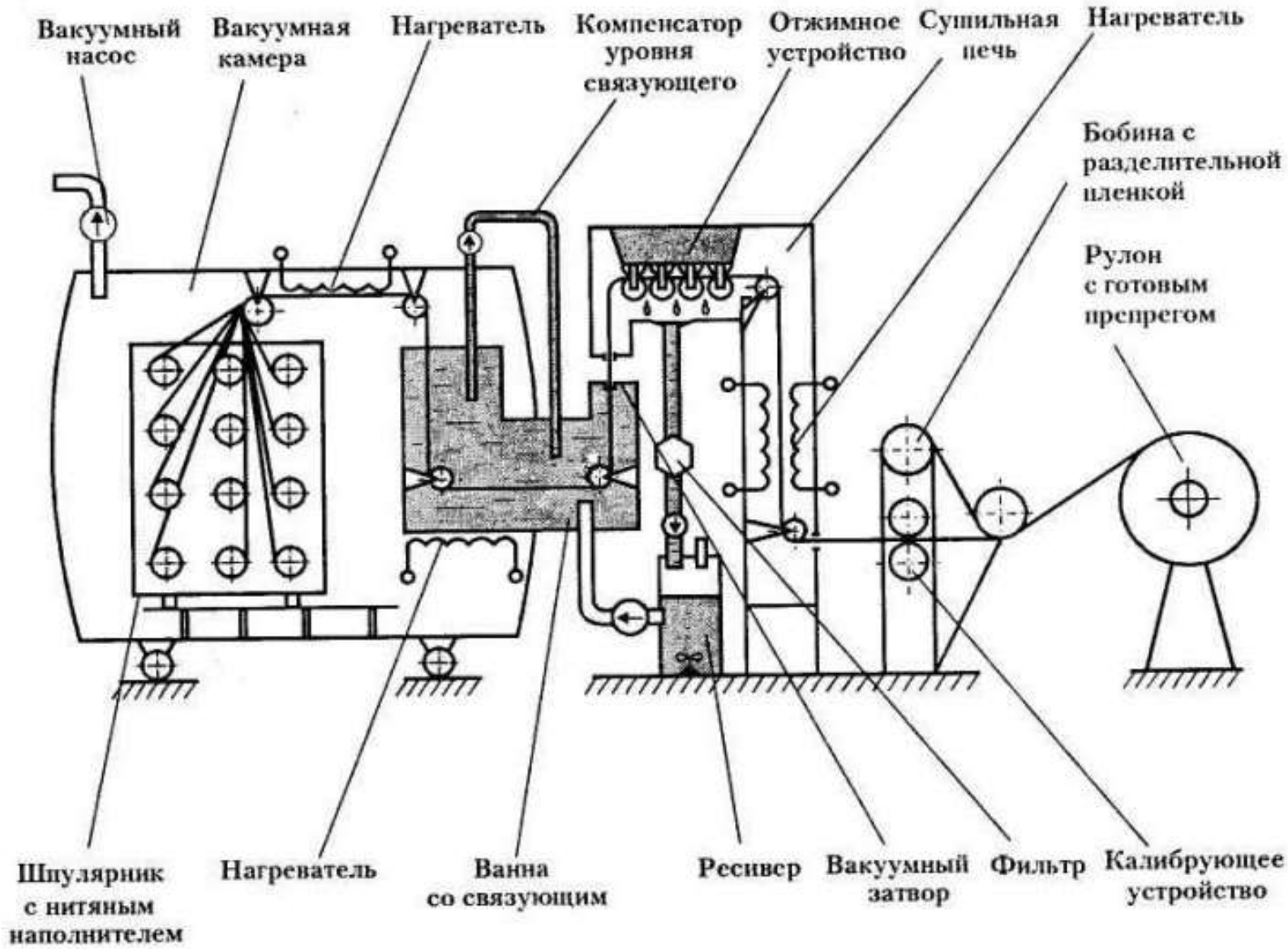



*Схема пропиточной установки для получения препрега*

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Принципы создания полимерных композиционных материалов

При создании ПКМ главной задачей является *улучшение комплекса физико-механических свойств*. При этом основной показатель – *сопротивление материала разрушению*.

Во многих случаях при создании композитов дополнительно ставят задачу *повышения модуля упругости*, характеризующего жесткость материала, *повышения теплостойкости, стойкости к удару, химической, масло-, бензостойкости, улучшения перерабатываемое, внешнего вида* или *размерной стабильности изделий* и т. д.

Свойства ПКМ в первую очередь зависят от свойств полимера-матрицы, но во многом зависят и от химической природы *второй фазы*, формы ее частиц, размеров или возможной ориентации армирующих волокон, которые и формируют обобщенные параметры структуры ПКМ, к которым относятся:

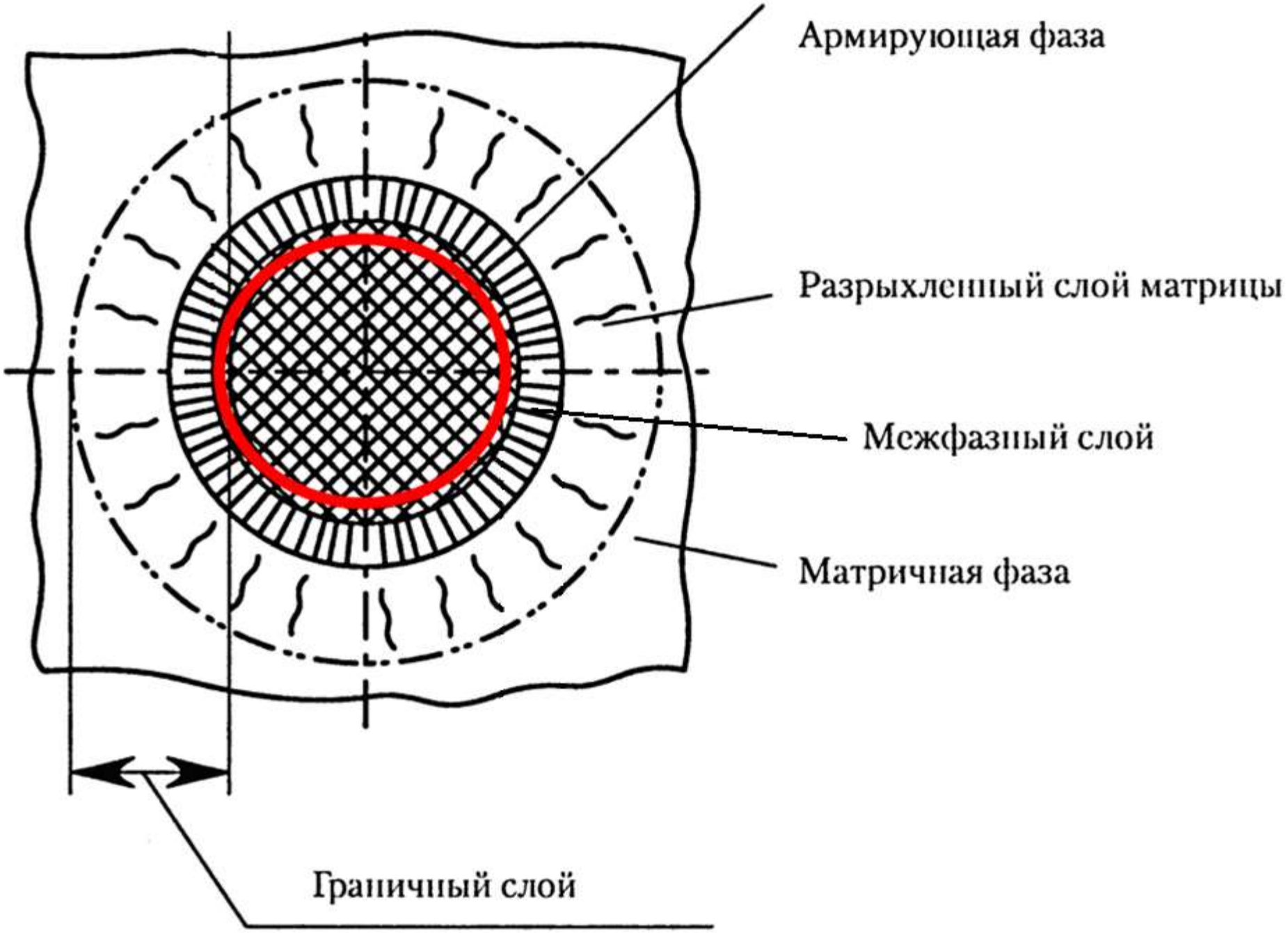
***a*** – среднестатистическое расстояние между частицами наполнителя (волокон) (межчастичное расстояние);

$\varphi_f$ – свободный объем наполненной системы;

***Θ*** – свободная часть полимерного связующего;

***B*** – недоступная часть полимерного связующего;

***M*** – часть связующего, находящегося в межфазном слое.




Интенсивность межфазного взаимодействия играет важную роль в формировании свойств ПКМ.

***Межфазным слоем*** принято называть объем полимера-матрицы, прилегающий непосредственно к границе раздела полимер-наполнитель и имеющий структуру и свойства, отличающиеся от таковых в объеме.

*Межфазный слой* существенно отличается от матричной фазы по составу, поскольку он вбирает в себя аппрет, замасливатель и другие низкомолекулярные включения связующего и поверхности наполнителей (армирующих волокон).

Граница раздела фаз является наиболее слабым местом материала, и именно здесь начинается разрушение, как при механических нагрузках, так и при других воздействиях, например, под влиянием внешней атмосферы, воды и пр.

Граница раздела фаз определяет интенсивность взаимодействия полимер-наполнитель посредством двух параметров: *адгезионного взаимодействия контактирующих фаз* и *модификации структуры полимера в области контакта*.

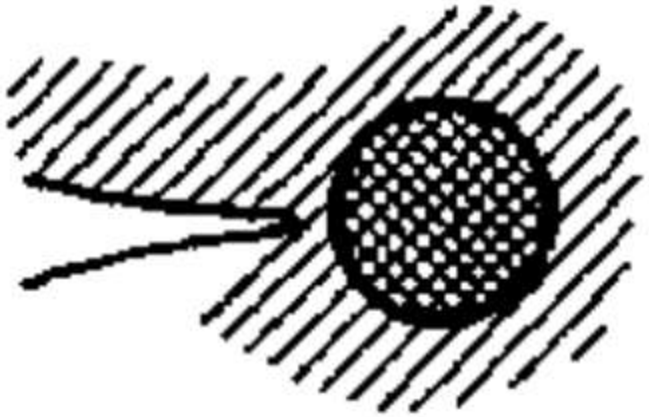
Структура и свойства МФС для конкретного ПКМ целиком определяются величиной *адгезионного* взаимодействия, но в то же время изменение структуры и свойств полимера за счет введения *модификаторов (аппреты, совмещающие добавки, компатибилизаторы)* может изменить адгезионное взаимодействие на поверхности контакта полимер-наполнитель.

Распространение трещины при механическом воздействии на ПКМ может приостановиться или вовсе прекратиться при встрече с межфазным слоем (МФС) полимера на поверхности твердой частицы. Этому могут быть две причины.

*Первая причина:* поверхность активного наполнителя (технический углерод, аэросил, ультрадисперсный каолин и др.) обладает высокой адсорбционной способностью. Адсорбция на его поверхности части сегментов макромолекул приводит к ориентации нефиксированных сегментов по направлению от наполнителя в объем полимера. Возникает упорядоченный, частично ориентированный межфазный слой полимера с повышенной прочностью. Это замедляет рост трещины, которая может либо обогнуть частицу наполнителя (волокна) (*A*), либо разрушить ее (*B*). И в том и в другом случае прочность ПКМ повышается.

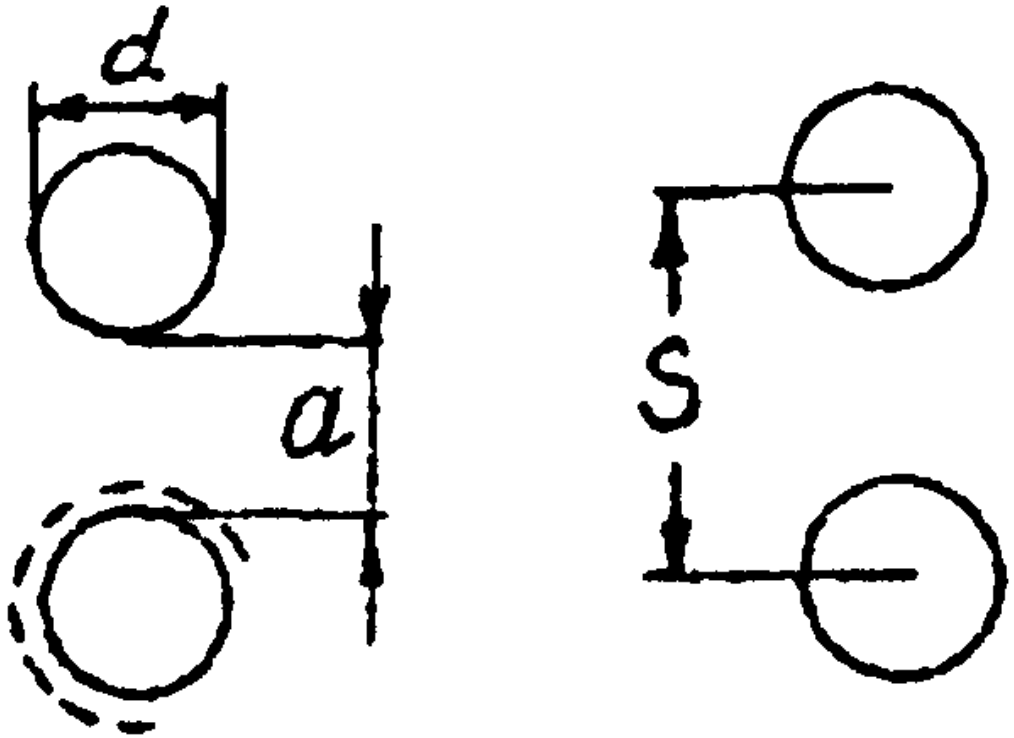


*Вторая причина* заключается в том, что если взаимодействие полимера с поверхностью наполнителя мало, МФС ослаблен, то при встрече трещины с таким слоем перенапряжения в вершине трещины быстро релаксируют за счет облегченной деформации полимера в МФС или даже за счет отслоения полимера от поверхности частицы. Этот эффект особенно выражен в пенопластах из нехрупкого полимера, где трещина прекращает расти при встрече с пузырьком воздуха.





Для прогнозирования свойств ПКМ так же необходимо оперировать такими показателями как: *форма частиц, концентрация дисперсной фазы; способность частиц или волокон к взаимной упаковке*, а также их *размер*. Для этой цели целесообразно воспользоваться параметром – *межчастичное расстояние*.




При равномерном распределении частиц по всему объему ПКМ можно выделить следующие параметры системы:

***S*** – расстояние между центрами частиц;

***d*** – диаметр частиц;

***a*** – среднестатистическое межчастичное расстояние.

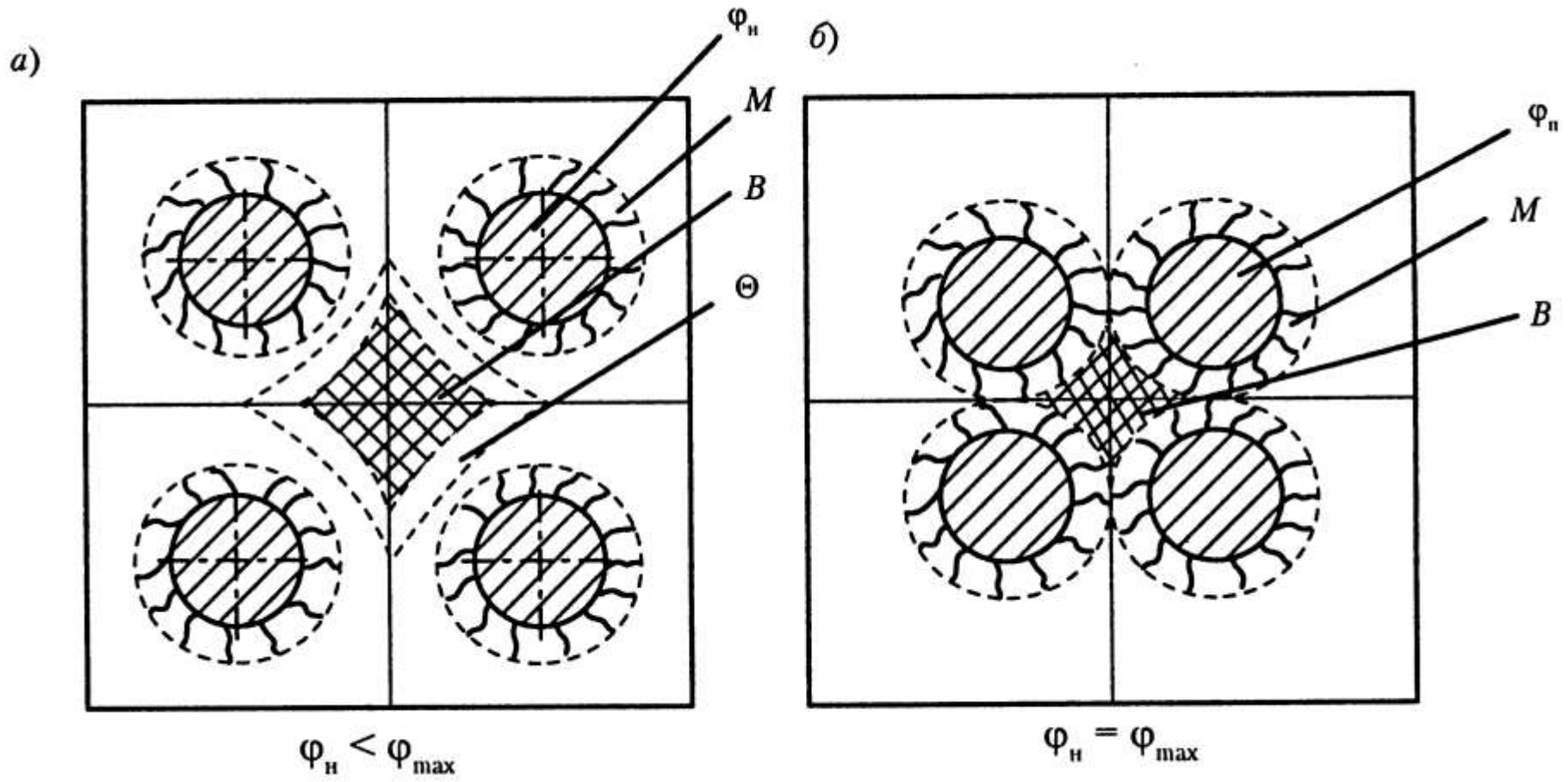
*Форма* частиц может изменяться от идеально сферической с гладкой или пористой поверхностью до анизометричной.

С уменьшением размера частиц резко возрастает их *общая удельная поверхность*, резко растет число частиц при том же объемном содержании, а значит, *уменьшается расстояние между частицами* наполнителя в ПКМ.

*Увеличение удельной поверхности* наполнителя означает увеличение межфазной поверхности в ПКМ и даже при неизменной толщине МФС приводит к росту объема полимера, образующего МФС.

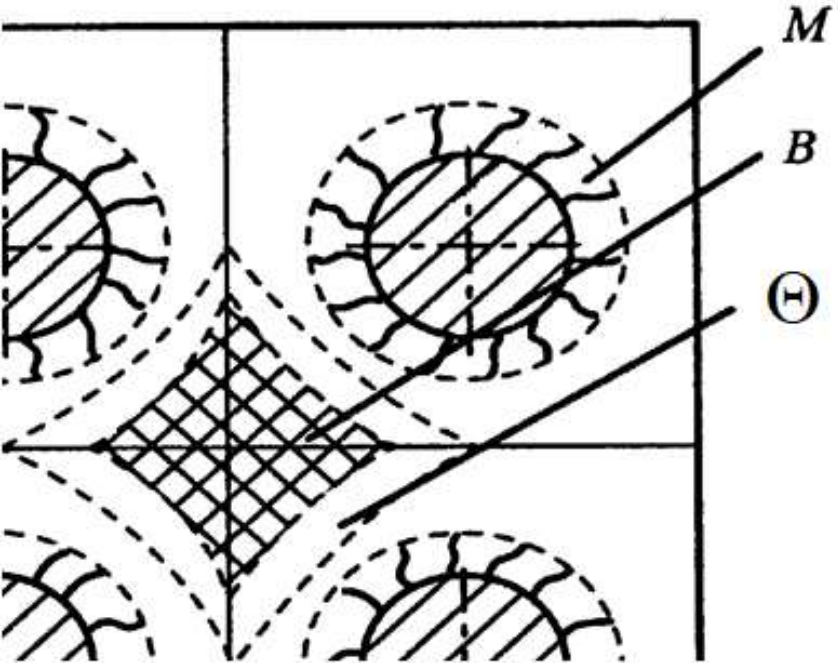
*Расстояние между частицами наполнителя* в ПКМ уменьшается с уменьшением размера частиц, поскольку растет число частиц в единице объема при данной степени наполнения.

При размере частиц менее 10 *мкм* происходит резкое уменьшение расстояния между частицами в определенном диапазоне наполнения. Когда *межчастичное расстояние* достигает величины, при которой соприкасаются МФС соседних частиц, достигается наибольший усиливающий эффект (максимальный коэффициент наполнения).




***Θ*** - доля свободной полимерной части связующего, идущая на раздвижку частиц; ***B*** – доля недоступной полимерной части связующего, заключенная между частицами при $\varphi=\varphi_{max}$; ***M*** – доля полимерной части связующего, находящаяся в межфазном (граничном слое).

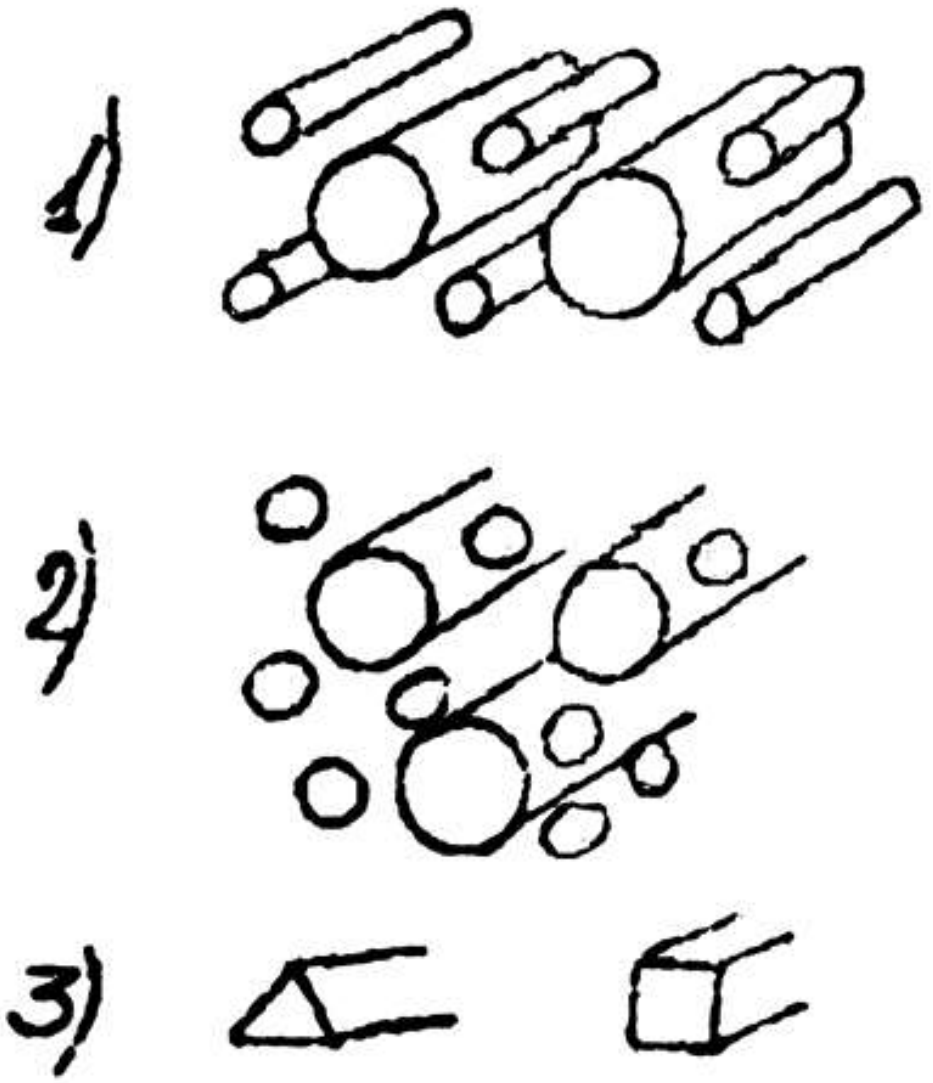
Полимер, находящийся в граничном слое (*M*) имеет высокую вязкость и практически не принимает участия в процессе деформирования. Полимерная часть (*B*), содержание которой достигает при $\varphi=\varphi_{max}$ и кубической упаковке частиц значения 0,36 об.долей, не обеспечивает течения и объемного деформирования системы. Т.о. за текучесть, объемное деформирование, перерабатываемость и смешение наполненного материала отвечает свободная полимерная часть - Θ




Чем больше Θ, тем лучше течет и перерабатывается ПКМ. Оптимальный интервал значений лежит в интервале 0,25-0,34 об.долей, когда в материале формируется непрерывная в 3-х направлениях полимерная прослойка, разделяющая частицы наполнителя и способствующая переработке.

Так же, как и для дисперсных наполнителей, увеличение максимально возможного содержания наполнителя в системе ($\varphi_m$) улучшает технологические свойства и волокнонаполненных материалов. Существуют три основных способа добиться увеличения $\varphi_m$ для волокон:

- *компоновка системы из волокон различных диаметров;*
- *гибридное сочетание волокон с дисперсными частицами;*
- *использование профильных волокон, упаковка которых улучшается.*



ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# Принципы создания полимерных композиционных материалов

Способы получения полимерных композитов определяются как типом наполнителя (волокнистый, порошкообразный), так и агрегатным состоянием полимера (жидкий или твердый).

В зависимости от этого используют для введения *дисперсных наполнителей* способы получения ПКМ, включающие стадию изготовления так называемых пресс-порошков либо мокрым методом, например пропиткой смолами, либо сухим методом, например вальцеванием. Для введения *волокнистых наполнителей* используют методы пропитки, промазки или ранее полученные препреги.

Традиционный метод получения композитов – *смешение*, успешно применяют во всех случаях, когда степень наполнения полимера не слишком велика (до 50 %). При более высоких степенях наполнения появляются неоднородность и неравномерность распределения армирующей добавки в полимерной матрице. Кроме того, данному методу свойственны и другие недостатки.

*Усадочные процессы*. Процессы полимеризации, поликонденсации и отверждения всегда сопровождаются уменьшением объема. Такое уплотнение при переходе от мономера (олигомера) к полимеру связано с сокращением межмолекулярных расстояний от 3-4 до ~1,5 Å (на каждый моль мономера объем уменьшается примерно на 20 $см^3$). Изменение объема связующего в процессе переработки может привести к искажению формы изделия и возникновению внутренних напряжений, которые негативно сказываются на прочностных характеристиках изделия. Лишь при использовании связующих с минимальной усадкой могут быть получены высококачественные ПКМ.

*Изменение вязкости*. Вязкость связующего в процессе получения ПКМ резко возрастает. Поэтому для обеспечения равномерного распределения наполнителя в массе связующего приходится ступенчато повышать давление формования.

*Смешение – это процесс, уменьшающий композиционную неоднородность системы, в результате чего она становится более однородной.*

Виды процессов смешения разнообразны:

- смешение через расплав, когда в расплав вводятся жидкие или твердые порошкообразные добавки;

-смешение двух жидких компонентов (олигомеры, расплавы полимеров);

-смешение порошков и т. п.

Предварительно все ингредиенты должны быть соответствующим образом подготовлены: измельчены, высушены, избавлены от замасливателя, гранулированы, аппретированы и т. д.

В настоящее время полимеры и материалы на их основе серьезно потеснили такие основные конструкционные материалы, как железобетон, металл, дерево. Возможности полимерных материалов чрезвычайно широки благодаря многообразию полимеров и наполнителей, неисчерпаемой вариабельности составов композитов на их основе и методов их модификации.

Основным технологическим приемом получения полимерных композитов длительное время являлось механическое смешение наполнителя и полимерной матрицы.

Но технология *полимеризационного наполнения* – химическая прививка катализатора либо инициатора к поверхности наполнителя и последующая полимеризация или сополимеризация мономеров на этих поверхностях – открывает новую страницу в химии и технологии композитов.

Специфика *нового метода получения ПКМ* состоит в том, что наполнитель сначала обрабатывают инициатором полимеризации, который адсорбируется на поверхности частиц наполнителя.

Затем подготовленный наполнитель обрабатывают мономером и на поверхности частиц наполнителя начинается полимеризация, в результате которой они обрастают полимерной пленкой, словно шубой. После достижения нужной толщины пленки полимеризацию обрывают добавлением ингибитора.

Таким способом удается получать термопласты с содержанием минеральных наполнителей до 90-95 %. Для создания полимерной матрицы рекомендуется использовать наиболее дешевые и доступные мономеры: этилен, пропилен, бутадиен, винилхлорид, стирол.

# СПАСИБО за внимание!

ФГБОУВО СамГТУ
Кафедра «Технология органического и нефтехимическ синтеза»

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

# ПОЛИМЕРЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ

Доцент кафедры ТОиНХС
ФГБОУ ВО СамГТУ, к.х.н.
Дружинина Ю.А.

Самара, 2023

# Введение

**Полимеры** – это вещества, состоящие из молекул, характеризующихся многократным повторением одного или более типов атомов или групп атомов (мономеров).

**Мономер** – низкомолекулярное вещество, молекулы которого способны вступать в реакцию друг с другом и с молекулами других веществ с образованием полимера.

**Полимеры**

Промышленность



Сельское хозяйство



Наука и техника



# Степень полимеризации, молекулярная масса

Степень полимеризации – число звеньев в полимерной цепи (Р).

Молекулярная масса полимера

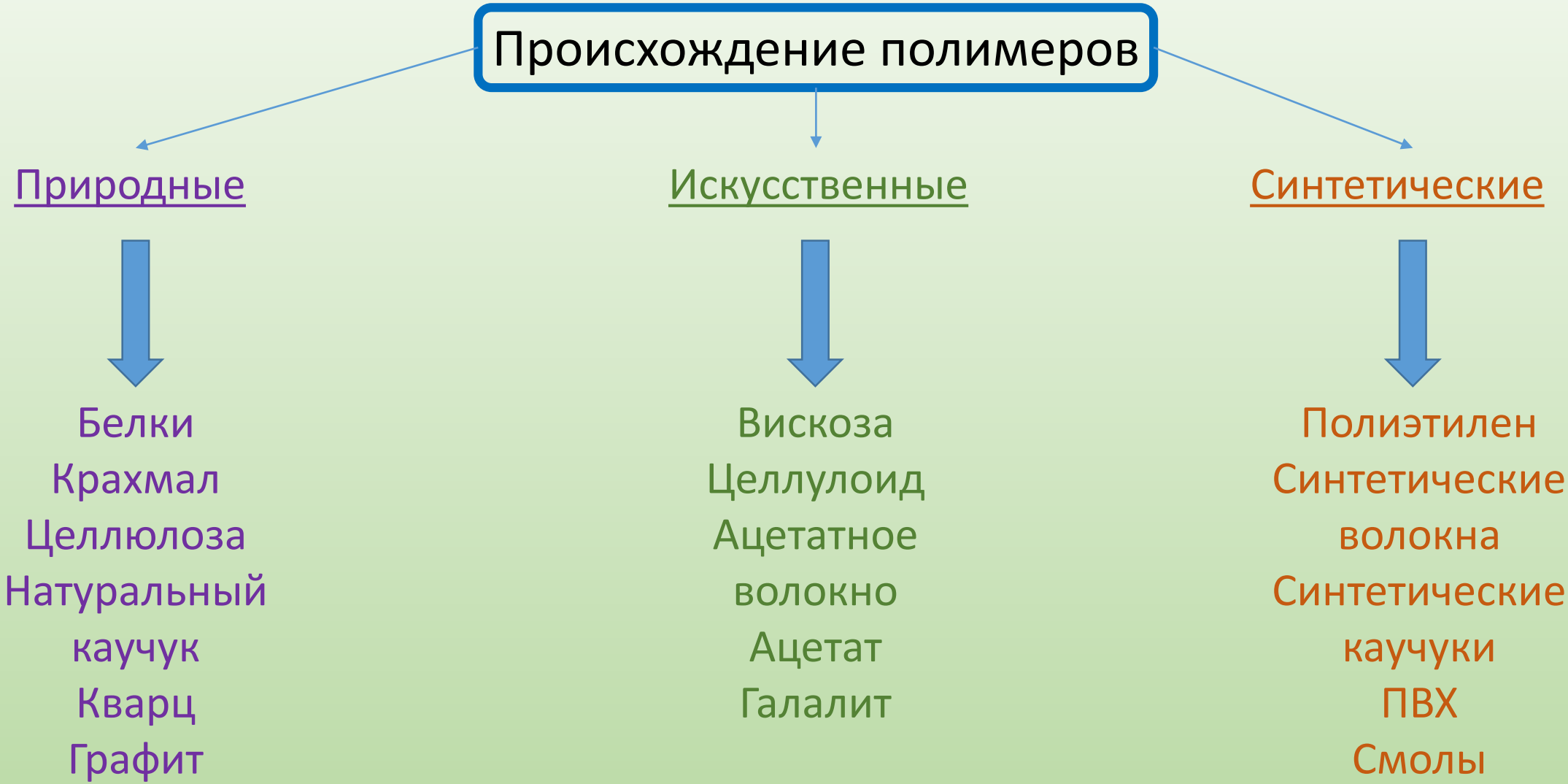
$$M_{пол} = P \cdot M_{зв}$$

| Полимер | Средняя молек. масса | Молек. масса мономерного звена (Мзв) | Степень полимеризации (Р) |
|---|---|---|---|
| Полиэтилен | 18 000 – 800 000 | 28 | 643 – 28 571 |
| Полипропилен | 80 000 – 200 000 | 42 | 1 905 – 4 762 |
| Полиизобутилен | 15000 – 225 000 | 56 | 268 – 4 018 |
| Полистирол | 50 000 – 200 000 | 104 | 481 – 1 923 |
| Поливинилхлорид | 6 250 – 1 562 500 | 62,5 | 100 – 25 000 |

# Классификация полимеров



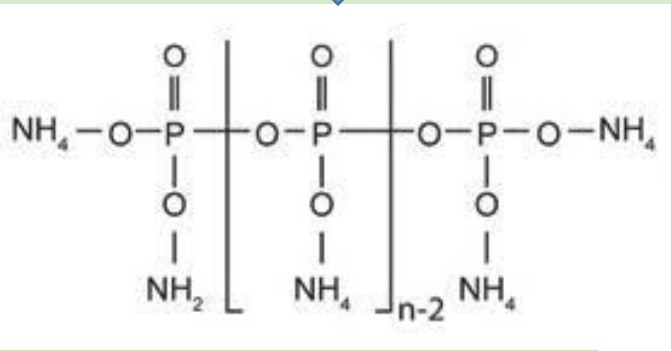
# Классификация по происхождению



# Классификация по химическому составу

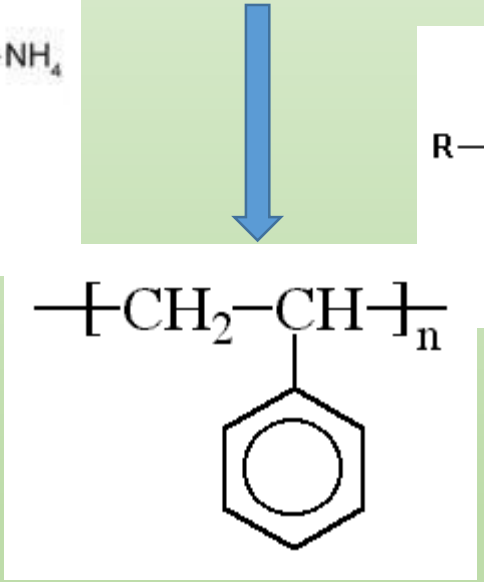
Химический состав

Неорганические (полифосфаты, полисиликаты)

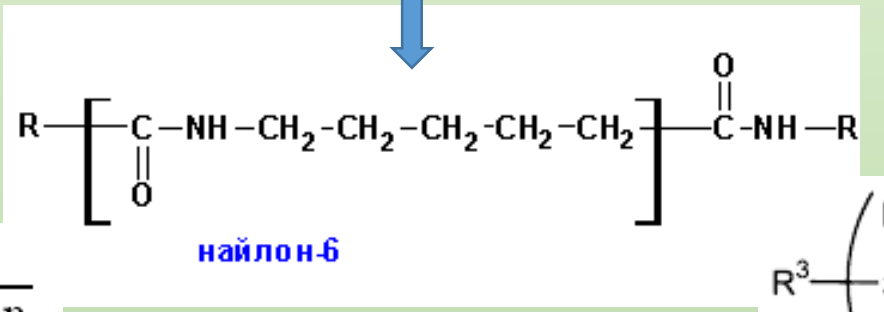


Органические

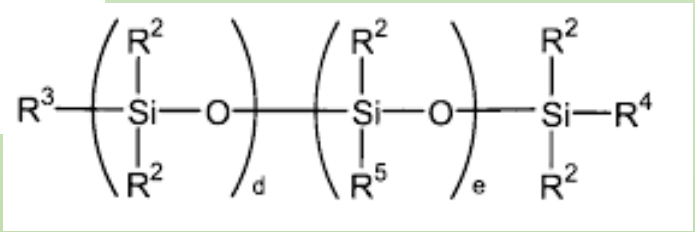
Карбоцепные (полиэтилен, полистирол)



Гетероцепные (полиамиды, полиэфиры)




Элементоорганические (полиорганосилоксаны, полисульфидные каучуки)

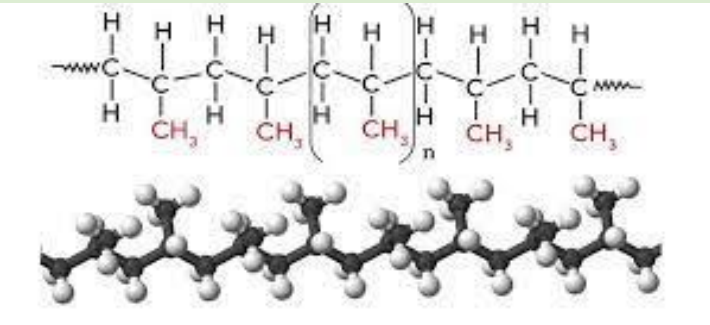


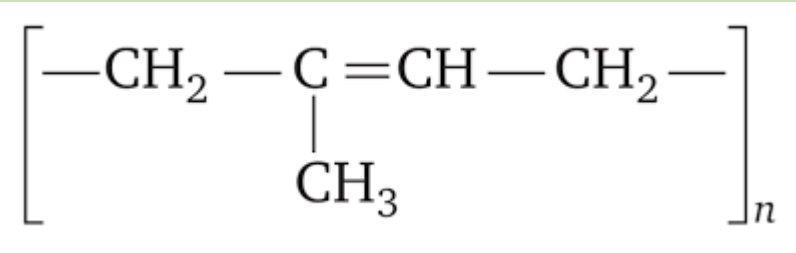
# Классификация по количеству мономеров

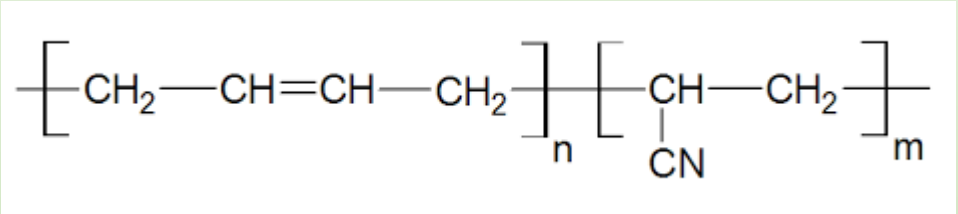
Количество и тип мономеров

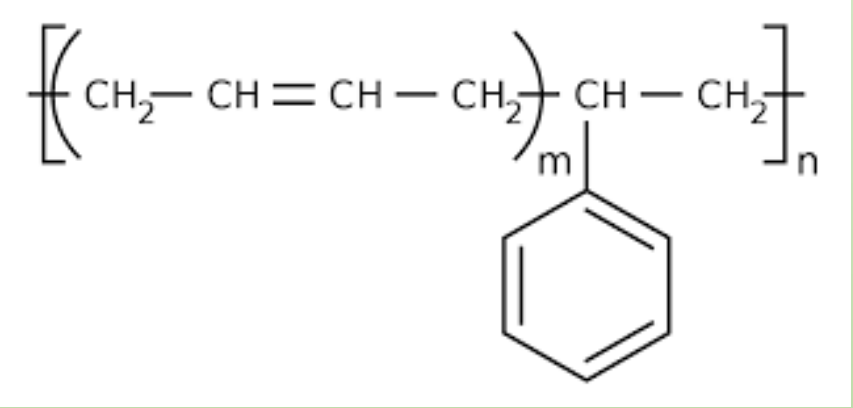
Гомополимеры

Сополимеры

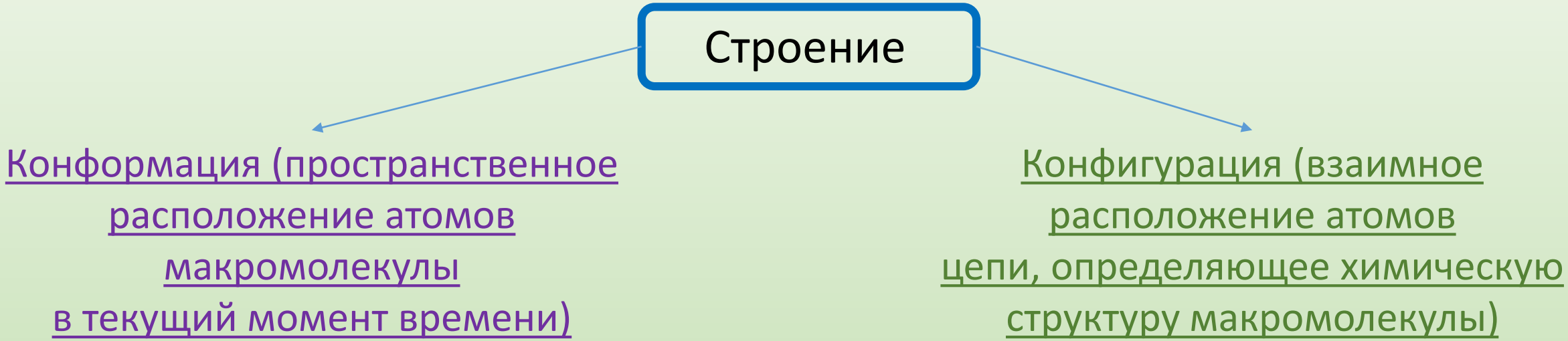




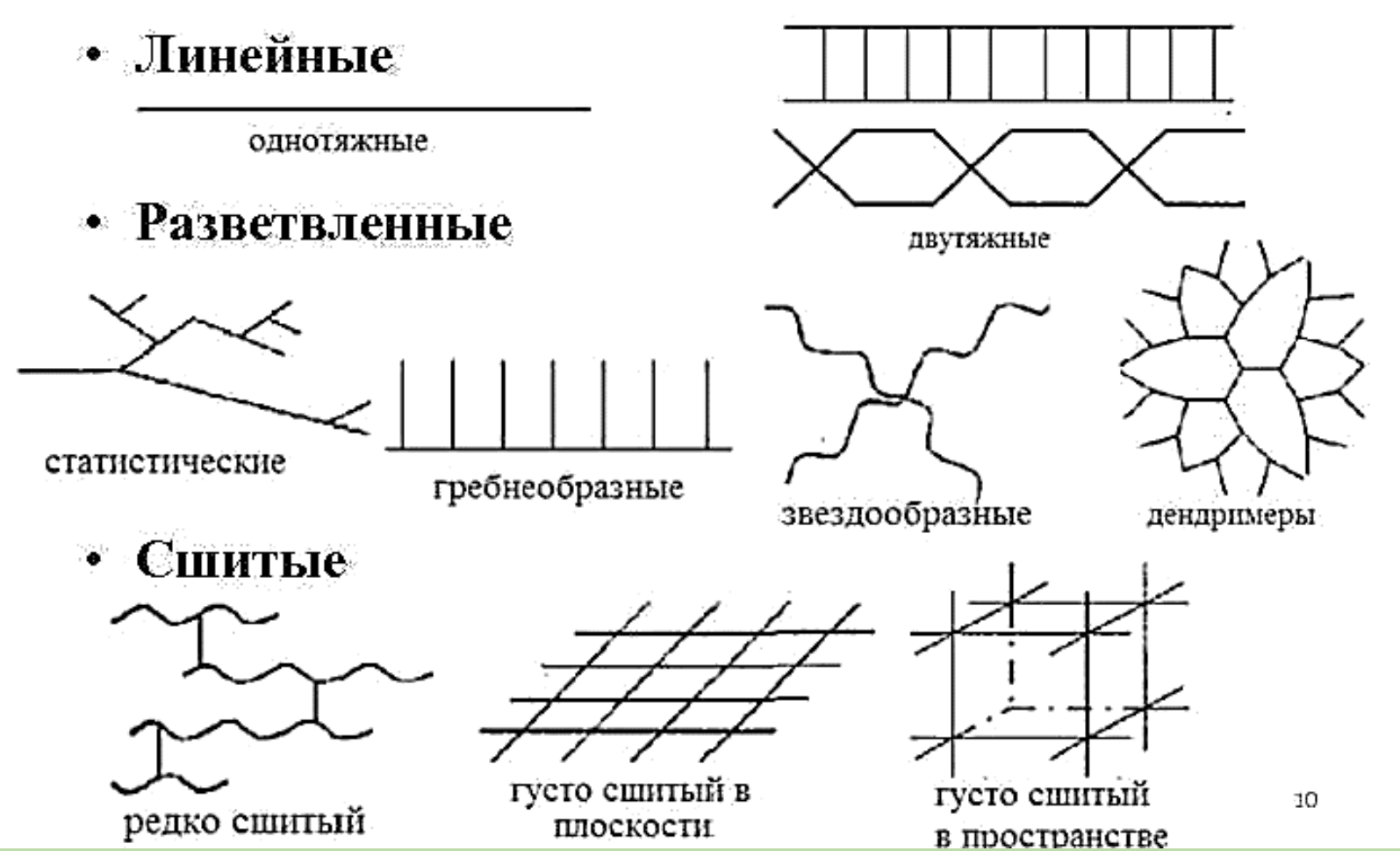



# Классификация по строению



# Конфигурация цепи

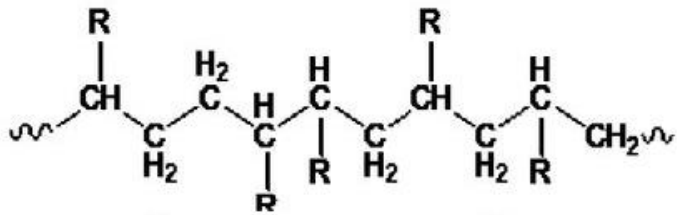
Конфигурация цепи отражает геометрию молекулы



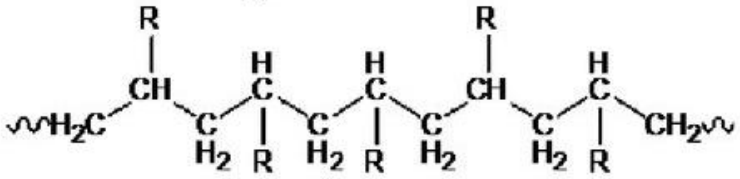
# Конфигурация дальнего порядка

Конфигурация дальнего порядка – способ присоединения звеньев и их изомерная форма вдоль всей цепи полимера

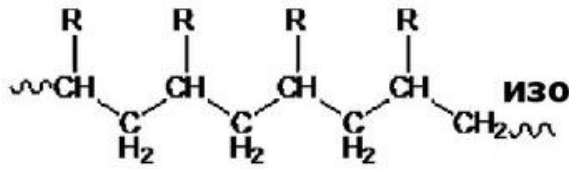
**нерегулярного** строения



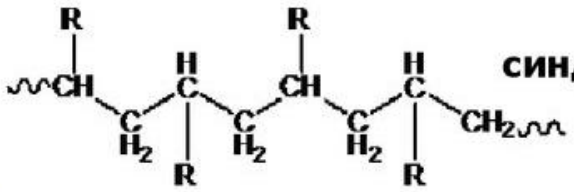
**регулярного** строения (атактические )



**стереорегулярного** строения (тактические)



**изотактичность**



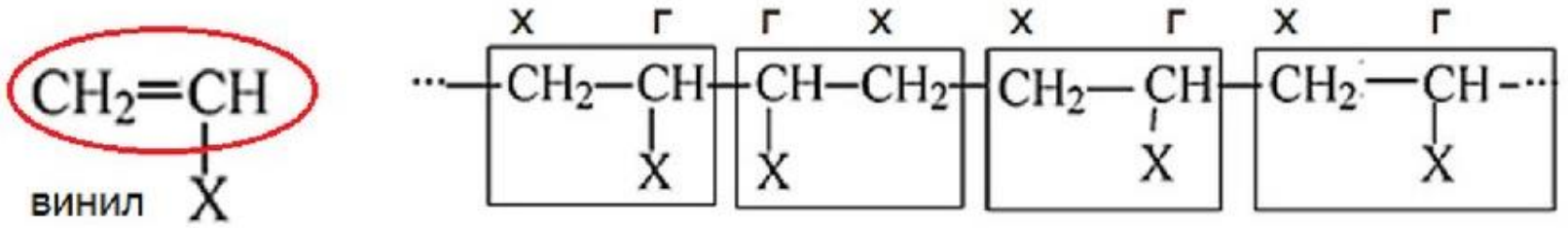
**синдиотактичность**

# Конфигурация ближнего порядка

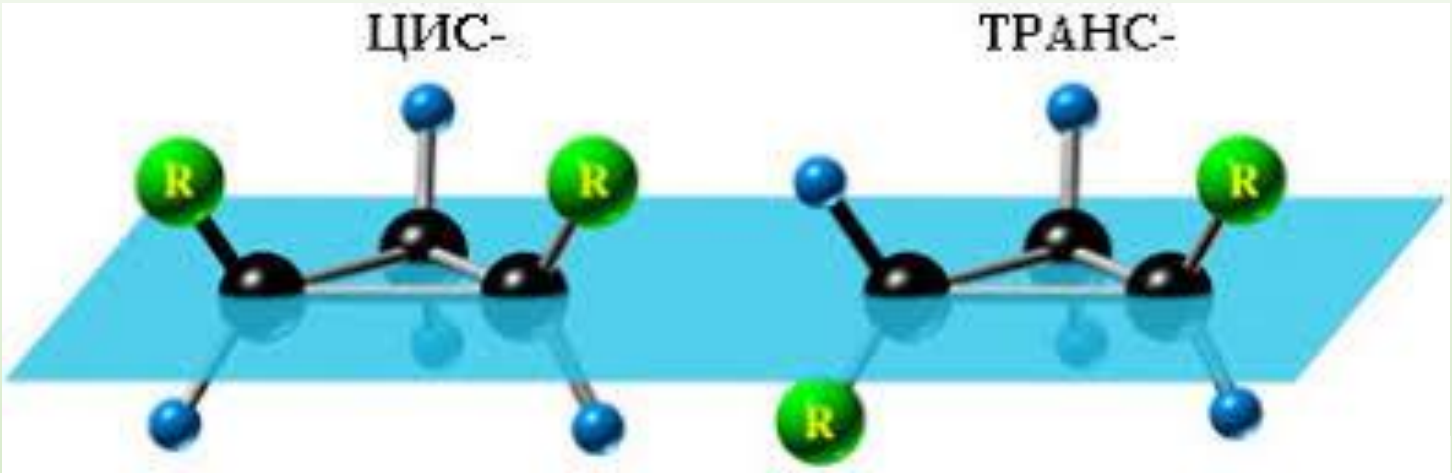
Конфигурация ближнего порядка определяется порядком присоединения мономеров

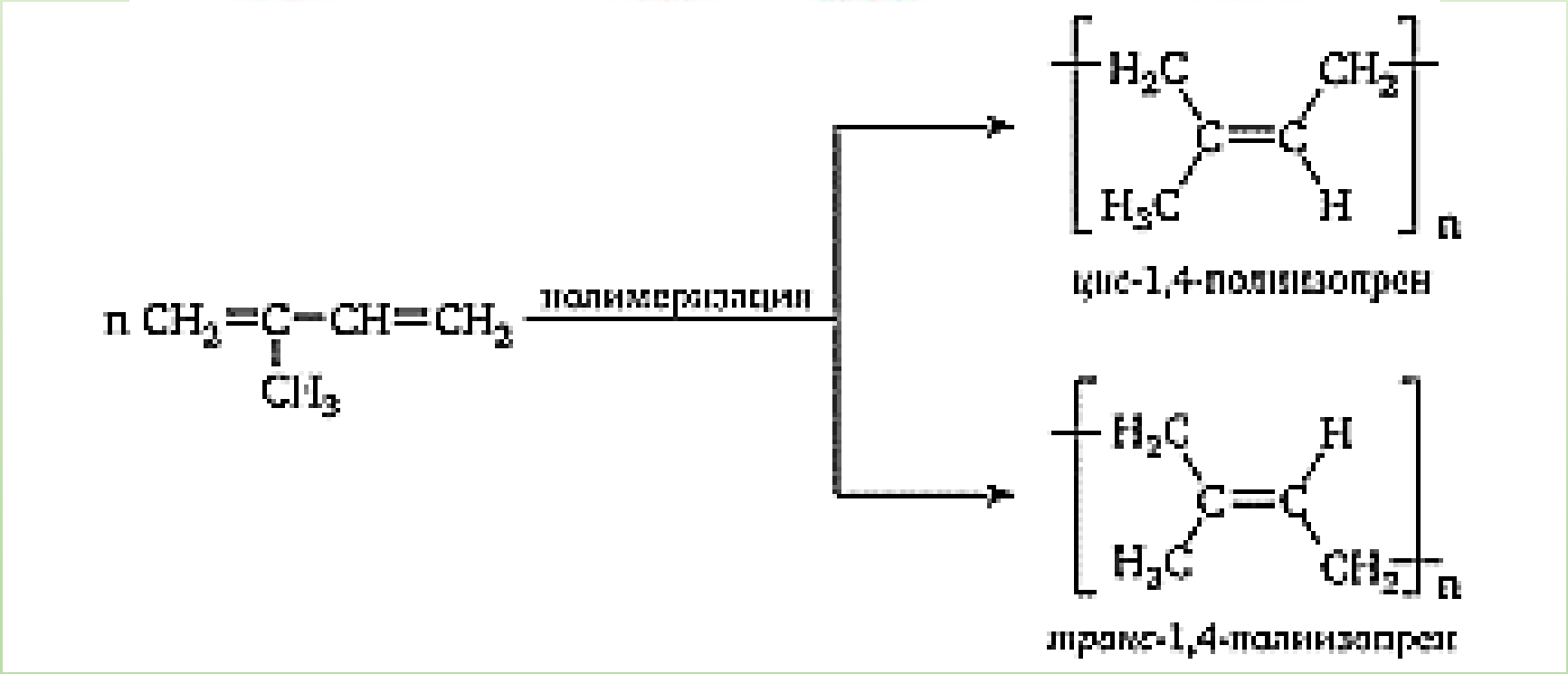
Виниловые полимеры

- “голова к хвосту”
- “хвост к хвосту”
- “голова к голове”

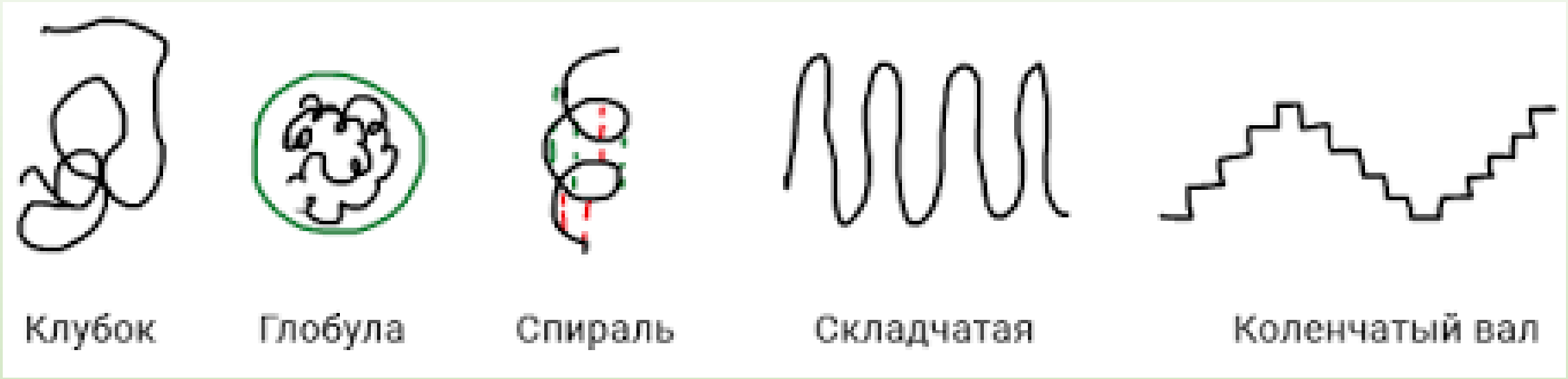


# Конфигурация ненасыщенных полимеров



# Конформация полимеров




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Линейные полимеры: ПЭ, ПП и др. | Белки Нуклеиновые кислоты | Алкилполи-изоцианаты | Полимеры в кристаллическом состоянии | Поли-n-бензамид |

# Классификация по области применения и переработки

## Область применения

Волокна



Пластмассы



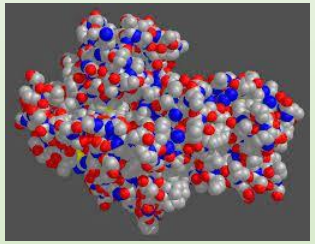
Клеи и лаки



Каучуки и



Биополимеры



## Переработка

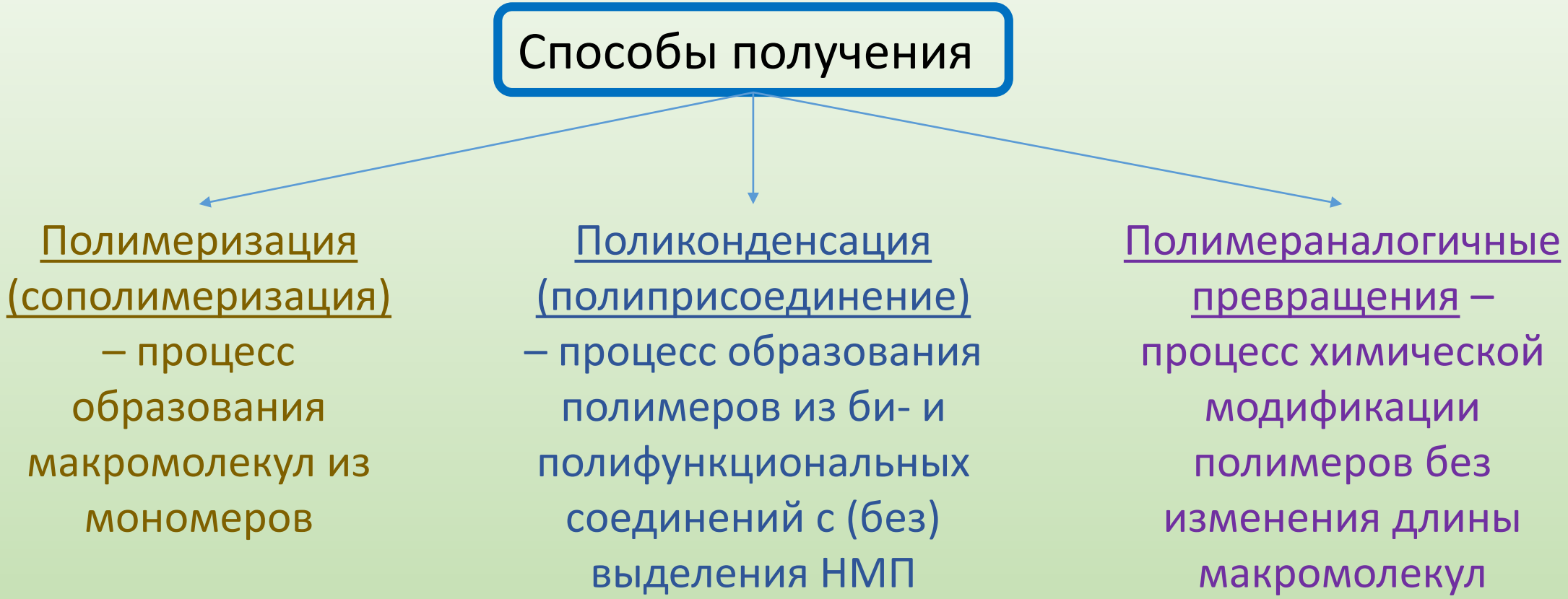
Термопласты



Реактопласты



# Способы получения полимеров



# Процесс полимеризации

Полимеризация (сополимеризация)

## *В массе:*

**+ высокая степень чистоты**
**+ высокая молек. масса**
**+ отсутствие стадии обработки полимера**

**- ограничение в регулировании молекулярной структуры**
**- высокая вязкость**
**- сложности с отводом тепла реакции**

Гомо- и сополимеры этилена, стирола и т.д.

## *В растворе:*

**+ управление процессом**
**+ регулирование мол. массы**
**+ полимер стереорегулярной структуры**

**- подготовка растворителя**
**- загрязнение полимера растворителем**

Полиизопреновый каучук, бутилкаучук

## *В эмульсии:*

**+ высокая скорость реакции**
**+ высокая молек. масса**
**+ эффективный отвод тепла**

**- загрязнение полимера эмульгатором и коагулянтом**
**- образование сточных вод**

Бутадиен-стирольный каучук

## *В суспензии:*

**+ гибкое регулирование температуры**
**+ эффективный отвод тепла**

**- загрязнение полимера стабилизатором**
**- риск крошкообразования**
**- образование сточных вод**

Полистирол, ПВХ

# Процесс поликонденсации

Поликонденсация (полиприсоединение)

## *В расплаве:*

**+ высокая производительность реактора**
**+ высокая чистота**
**+ отсутствие доп. компонентов**

**- высокая температура**
**- высокая энергоемкость**
**- сложности с отводом тепла реакции**

ПА-6, ПА-6,6, ПЭТФ

## *В растворе:*

**+ эффективное снятие тепла реакции**
**+ применение катализатора**
**+ относительно низкая температура реакции**

**- многостадийность**
**- образование сточных вод**

Фенолформальдегидные, эпоксидные смолы, полиуретан

## *Межфазная:*

**+ низкая вязкость**
**+ эффективный отвод**
**+ высокая скорость реакции**

**- многостадийность**
**- образование сточных вод**

Поликарбонат, кремнийорганический каучук

## *В твердой фазе:*

**+ высокая скорость реакции**
**+ отсутствие растворителя**

**- ограничение применения**

ПЭТФ, термореактопласты

# Сравнение процессов полимеризации и поликонденсации

| Полимеризация | Поликонденсация |
|---|---|
| 1. Цепная реакция присоединения активных центров к кратным связям мономеров. | 1. Ступенчатая реакция между функциональными группами многофункциональных мономеров. |
| 2. Не выделяется низкомолекулярное вещество. | 2. Выделяется низкомолекулярное вещество. Необходимость его удаления. |
| 3. Молекулярная масса полимера практически не зависит от конверсии. | 3. Молекулярная масса полимера зависит от конверсии, от концентрации НМВ, от константы равновесия реакции. |
| 4. Малое количество промежуточных олигомеров. | 4. Промежуточные олигомеры стабильны и способны к дальнейшим реакциям. |

# Процесс полимераналогичных превращений

Полимераналогичные превращения – химические реакции макромолекул с низкомолекулярными соединениями, в ходе которых изменяется природа связанных с основной цепью функциональных групп, но сохраняется длина и строение основной цепи.



# Заключение

1. Теоретические знания о структуре полимеров и их синтезу позволяет обоснованно выбирать способ получения, обеспечивающий заданную структуру и требуемые свойства полимеров.
2. Накопленные теоретические основы и практические знания о промышленных процессах получения полимеров позволяют разрабатывать рекомендации по управлению реакциями полимеризации, поликонденсации и полимераналогичных превращений с максимальной эффективностью и минимальными издержками при их производстве.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ