

# Основы научного исследования и планирование эксперимента

## Цель курса:

- **знание** методологии и понятийного аппарата научной деятельности, методов исследования, организации научной деятельности и планирования эксперимента;
- **умение** разрабатывать программу и план эксперимента при исследовании влияния

различных факторов на технологические и прочностные характеристики материалов;

**Кожухар В. М.**  
Основы научных исследований: Учебное пособие / В. М. Кожухар. М.: **опыт** анализа результатов научно-исследовательского эксперимента. Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. 216 с.

## **Огурцов, А.Н.**

Основы научных исследований : Учеб.-метод. пособие / А.Н. Огурцов. Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. 178 с. – На рус. яз.

## **Сабитов Р.А.**

Основы научных исследований: Учеб. пособие / Челяб. гос. ун-т. Челябинск, 2002.

## **Смирин Н.А., Лавров В.В.**

Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГПУ-УПИ, 2004. 257 с.

## **Славутский Л.А.**

Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие. Изд-во ЧГУ, Чебоксары, 2006. 200 с.

## НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ:

– один из **видов познавательной деятельности**, характеризующийся объективностью,

воспроизводимостью, доказательностью,

точностью;

**ПОЗНАНИЕ** – творческая деятельность, ориентированная на получение знаний о мире.  
– процесс выработки новых **знаний**.

**Формы познания** (в зависимости от функционального предназначения, характера знания,

соответствующих средств и методов):

обыденное, мифологическое, **религиозное**, художественное,

**ЗНАНИЕ** – философия, **искусство** (Т.А.Е. (П.У.А.Б.Ч.Н.О.Я.Н.Д.), 2006. 2142 с.)

определенным способом (методом) полученная (3),

в соответствии с какими-либо критериями (нормами) оформленная

(4),

имеющая социальное значение (5)

и признаваемая в качестве именно **ЗНАНИЯ**.

определенными социальными субъектами и обществом в целом

**ИНФОРМАЦИЯ** (лат. informatio – разъяснение, изложение, осведомленность) –

одно из наиболее общих понятий науки, обозначающее некоторые

сведения,

совокупность каких-либо данных, знаний и т.п. с.580

1,2. **Селективная, упорядоченная** – информация, относящаяся к некоторой обособленной

части мира и представленная на основе *теоретических*

*предпосылок*

в форме некоторого логического объекта – **модели**

(схемы, формулы, чертежи, вычислительные программы и т.п.).

**ЗНАНИЕ** оперирует с моделями, а не с реально существующими объектами.  
*Теоретические предпосылки* – предположения, аксиомы, гипотезы, теории, понятия.

**Модель** включает наиболее существенные, **по мнению**

**исследователя,**

свойства исследуемых объектов (явлений, процессов,

и т.п.). **Информация в составе знания** может быть получена

– *теоретически* (классификация, аналогии, идеализация и т.п.)

– *эмпирически* (наблюдение, эксперимент, анализ архетипов, документов и т.п.)

с использованием некоторых критериев (количественных,

**ЗНАНИЕ** – суждение о некоторой части мира, сформированное на основе информации,

селективной, упорядоченной и полученной в соответствии с определёнными критериями;

имеющая социальное значение и признанная в качестве **ЗНАНИЯ** определёнными социальными группами. **ЗНАНИЕ** по своему происхождению **социально** и **психологично**:

– первичная информация формируется органами чувств (**ощущения**);

– отбор значимой информации (**отражение**) зависит от потребностей, мотивации;

– реакция на значимую информацию (**саморегуляция**) от предыдущим опыта и знаний.

«Наука создана человеком и для человека и вся система её придумана так, что она соответствует природе **человеческого сознания**»

Пономарёв Л.И.

**СОЗНАНИЕ** – высший уровень психического **отражения** и **саморегуляции**;

представлено непрерывно меняющейся совокупностью чувственных и

умственных

**образов**, представленных во «внутреннем опыте»

человека

Сознание в каждый момент может оперировать **ограниченным количеством образов** и предвосхищающих его практическую деятельность.

Любая **модель должна и может осознаваться**, если соответствует этому ограничению, Психология. Словарь/под ред. А.В. Петровского и М.Г. Ярошевского, М.: Политиздат, 1990. 494 с.)

**ДИТЯ (1 год)** индивидуальному для каждого человека. Для взрослого объём оперативной памяти **7**

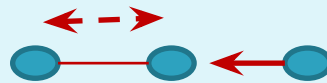
$n + m = 3$ ,  $n$  – количество образов (элементов совокупности);  
 $m$  – количество связей между элементами;

$P = 2m/n$  – связность элементов.

$P = 2m/n$

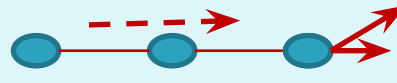
**РЕБЁНОК (7 лет)**  $n + m =$

$P = 2m/n = 1,33$



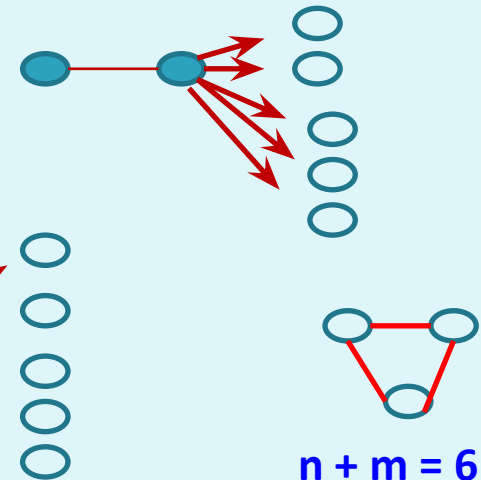
**ПОРОСТОК (13 лет)**  $n + m =$

$P = 2m/n = 1,5$



Для линейной схемы  $P = 2m/n = 2(n - 1)/n < 2$

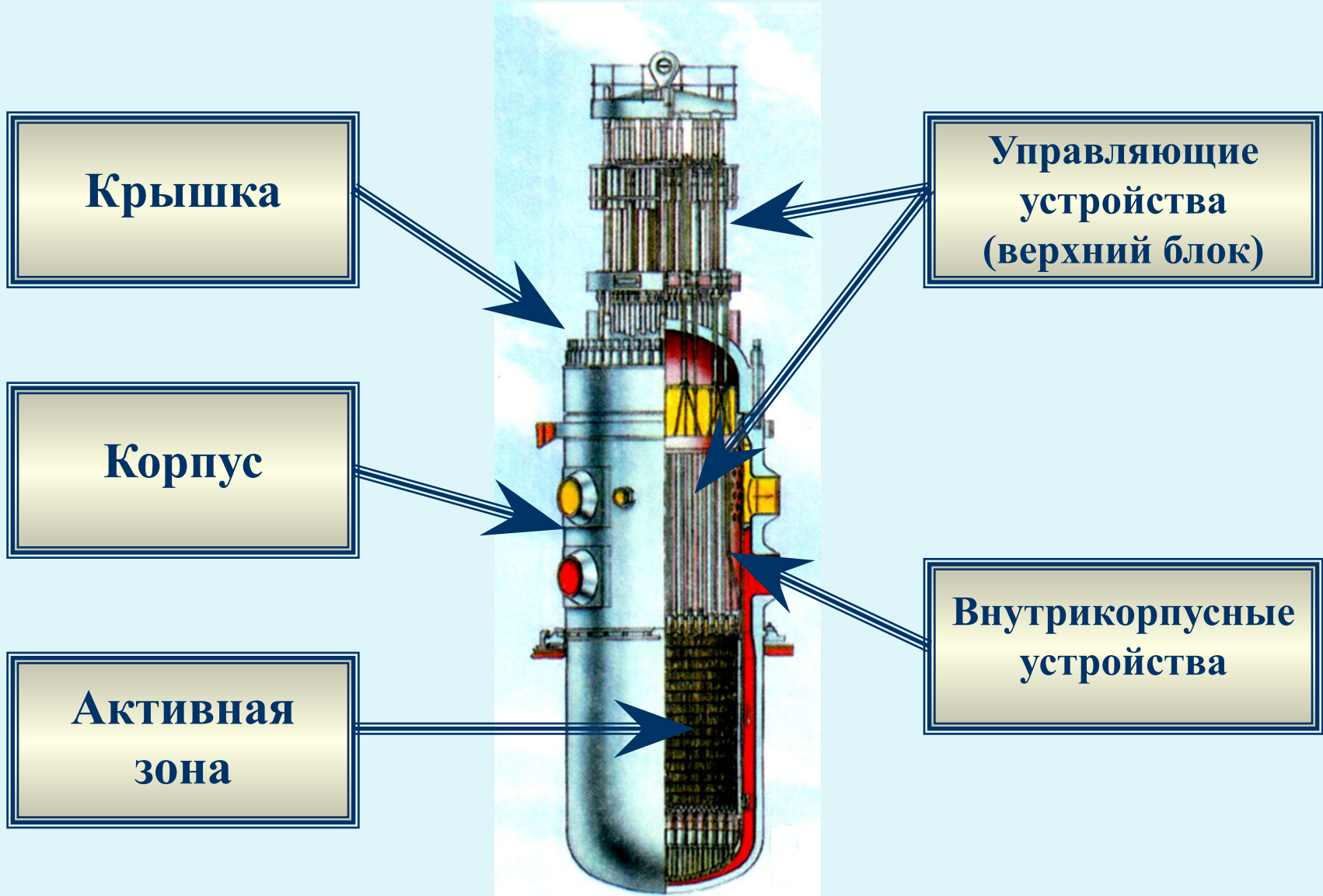
Для линейной схемы при  $n + m = 9$  получим  $P = 2m/n = 2 \cdot 4/5 =$



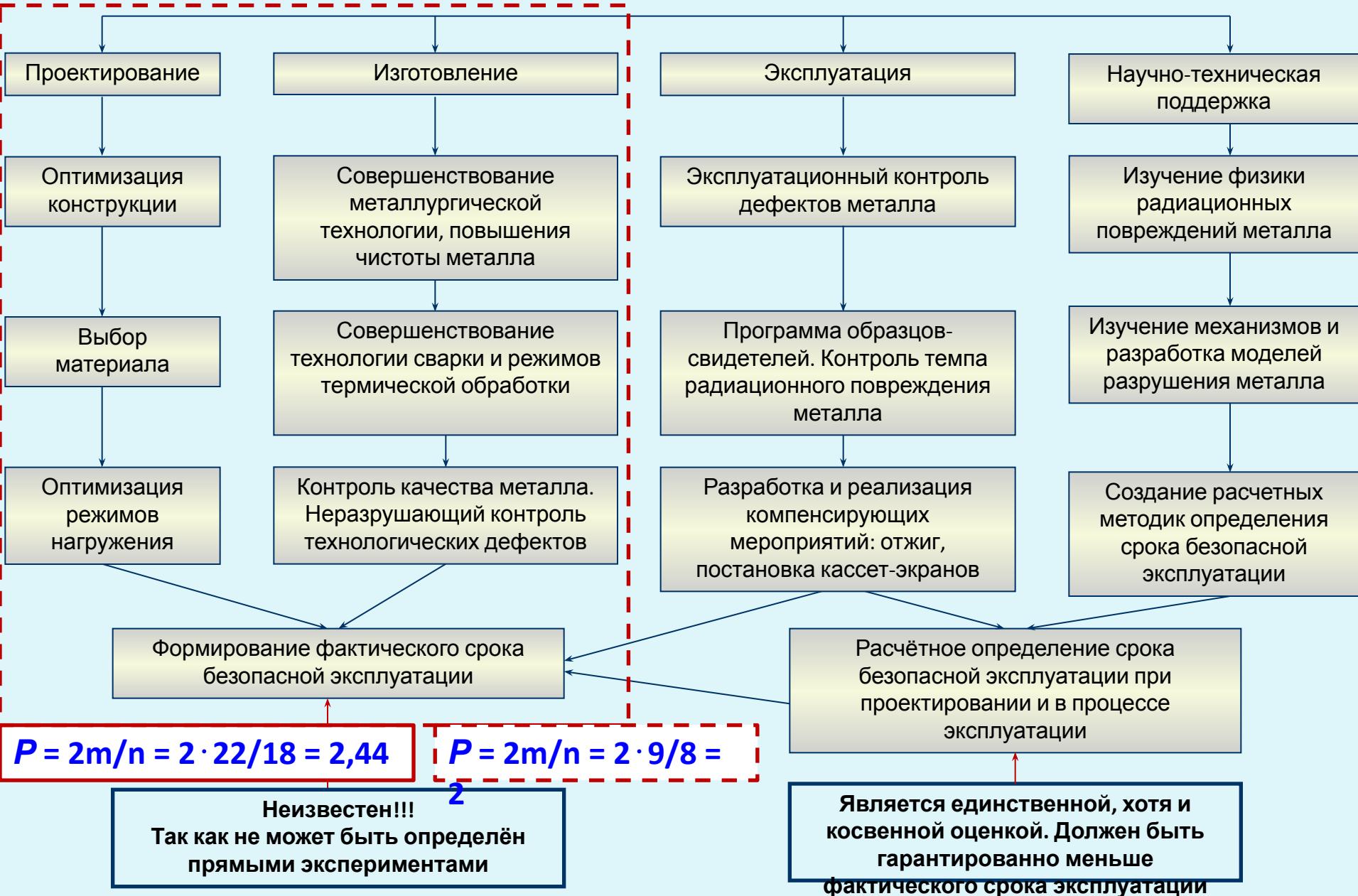
$n + m = 6$

$P = 2m/n = 2$

# ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА



# СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ - БЕЗОПАСНОГО СРОКА СЛУЖБЫ КР И ВКУ



# СХЕМА ОБОСНОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КР

на основании расчетно-экспериментальных методов

$$P = 2m/n = 2 \cdot 21/23 = 1,83$$



# Модель максимального осознания

При  $n = 4$  число всех возможных связей  $m = 6$  – это **тетраэдр**.

Для тетраэдрической модели сумма  $n + m = 10$  связность  $P = 2m/n = 3$ .

Для человека предельно  $n + m = 9$ , отбросив одну связь, получим  $P = 2m/n = 2,5$ .

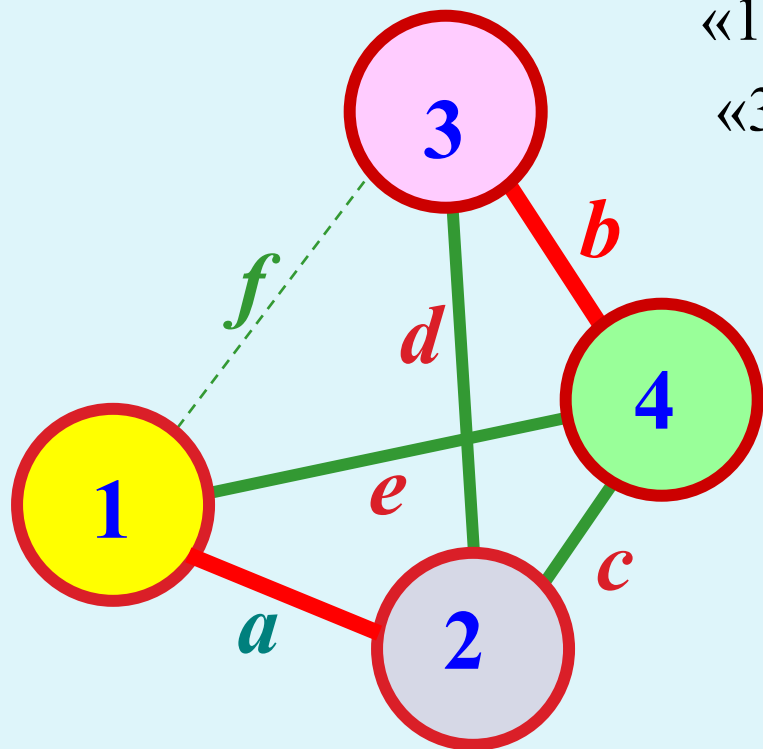
«1 – 2» – первая пара противоположностей

«3 – 4» – вторая пара противоположностей

$a$  и  $b$  – отношения, связи между противоположностями «1 – 2» и «3 – 4»

$c, d, e$  – отношения, связи, **осознаваемые** в данный момент

$f$  – отношение, связь, **не осознаваемая** в данный момент



**Тетраэдрическая модель**

Модель научного знания  
тетраэдрическая

– максимально осознаваемая;

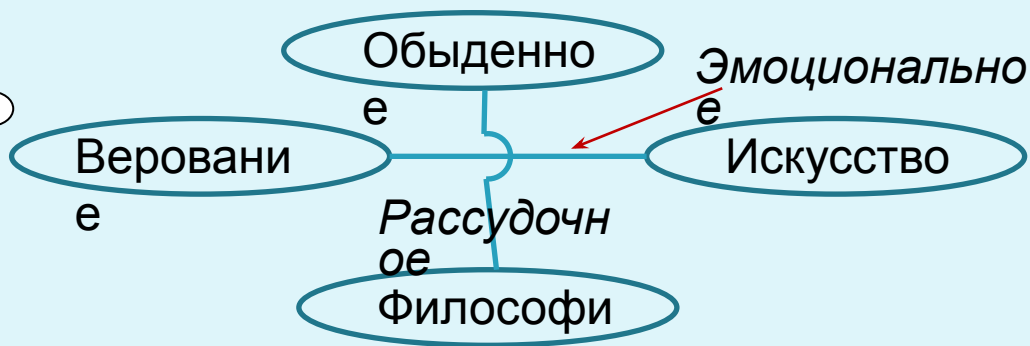
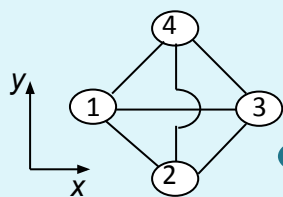
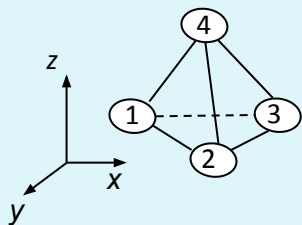
– открытая для развития

Знание в обучении представлено  
линейно,

осознание недостаточное, но открытое



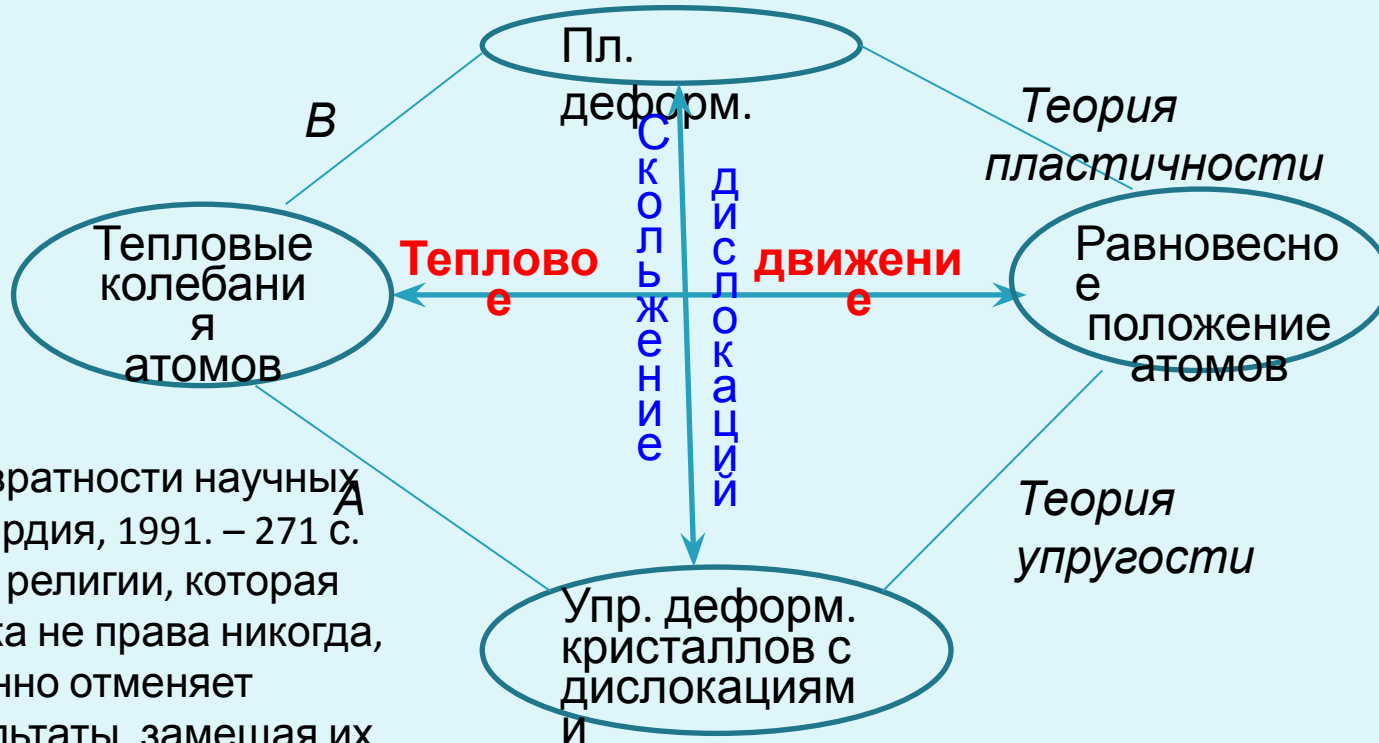
# Тетраэдрическая модель форм познания



**Познание**  
 рассудочное  
 и эмоциональное

# Тетраэдрическая модель механизмов деформирования и разрушения металлов

**Деформация**  
 – результат смещения атомов



**Сухотин А.К.** Превратности научных идей. – М.: Мол.гвардия, 1991. – 271 с.

В отличие от религии, которая всегда права, наука не права никогда, потому что постоянно отменяет собственные результаты, замещая их

# ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ

## ИССЛЕДОВАНИЙ

Научные исследования

– по источнику финансирования (*бюджетные, хоздоговорные и нефинансируемые*);

– по целевому назначению (*фундаментальные, прикладные, поисковые и разработки*).

**Фундаментальные научные исследования** –

это экспериментальные или теоретические исследования, направленные на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, окружающей природной среды.

**Прикладные научные исследования** – это исследования, направленные на применение

**Поисковые научные исследования** проводятся с целью определения <sup>новых знаний.</sup> путей решения

**Разработка (ОКР)** – это исследование, направленное на внедрение в практику результатов фундаментальных и прикладных исследований.

Проблема ⇒ создание новых сплавов (разработка (?), поисковые; прикладные НИ и

фундаментальные

# Обобщенная схема исследования

1. Выявление **проблемы** (Кожухарь В.М.)
2. Распознавание проблемы, выявление ее актуальности, **значимости**, масштабов и т. д.
3. Выявление **объекта и предмета исследования**. Постановка его **цели**
4. Разрыв герменевтического круга
5. Выбор подхода к исследованию и его концепции
6. Выдвижение исследовательской гипотезы (гипотез)
7. Сбор недостающей информации, включая постановку эксперимента
8. Обработка, визуализация, представление информации в удобном для восприятия виде
9. Формулировка выводов: подтверждение или опровержение гипотезы (гипотез)
10. Верификация нового знания
11. Составление модели изучаемого объекта. Верификация модели
12. Модельное экспериментирование. Прогнозирование поведения объекта исследования
13. **Выявление проблемы**  
**Проблема** (как осознанное значимое несоответствие действительного и желаемому, имеющегося и должного) может иметь непосредственное отношение к жизни общества, к производству, науке и научному сообществу, системе воспитания и подготовки кадров.  
Проблема обусловлена как объективными (реальными потребностями сохранения и развития), так и субъективными факторами (ценностями, идеалами и т.п.).

## Распознавание проблемы

– это выявление **противоречий** и обуславливающих эти противоречия **противоположностей** реального или идеального мира. Выявление и распознавание проблемы направляются **научной парадигмой**.

**Научная парадигма** – это система понятий и основополагающих научных идей, которая

принимается сообществом учёных и обеспечивает их схемами

**На основе научной парадигмы данной группы исследователей** формируется **концепцией исследования** решений этих проблем. **Научная парадигма**

исторична.  
взглядов

**Методы разработки концепции** на способ разрешения выявленной

проблемы.

**Дивергенция** – расширение области исследования для обеспечения достаточного пространства поиска, проблемного

поля.

**Методы дивергенции** : обсуждение, анализ, визуализация проблемы; выявление

**Трансформация** — изменение представления о проблеме в наиболее приемлемого

для исследования.

**Методы трансформации**: классификация и выбор критериев классификации источников

и частей проблемы; уточнение структуры проблемы; ранжирование

**Конвергенция** — целесообразное сужение границ предмета исследования, источников и частей; установление взаимодействия источников и

**Методы конвергенции**: обосновывающие расчеты; проектирование и оценочные

частей.

эксперименты.

На основе концепции исследования определяются

- *объекта исследования;*
- *предмета исследования;*
- *цели исследования.*

**Объекта исследования** – определенные явления и процессы природного или социального характера, отдельные свойства предметов, различных систем и т.п.

Искомую информацию можно “снять” только с вещей и явлений в процессе их испытания, функционирования в реальных условиях. Информационную базу исследования часто смешивают с объектом исследования.

В исследовании *информация* выступает в виде фактов, которыми оперирует исследователь.

**Факт** — *это событие или явление действительности* (отраженное в сигнальной форме),

реально существовавшее, убедительное подтвержденное; следовательно, в той или иной

степени подвергнутое осмыслению, оценке его значимости.

**Научные факты** — *это факты, имеющие научную ценность*, отражающие определенный способ восприятия действительности, дающие новое знание или понимание явлений.

### *Принципы работы с предполагаемыми фактами:*

- объективность;
- отношение к существу проблемы (проверка на релевантность);
- информационная емкость;
- научная ценность;
- соответствие предмету исследования;
- достаточность фактов для обобщения;
- рациональность сопоставления, сочетания и соединения фактов;
- научная интерпретируемость.

### *Ошибки в работе с фактами:*

- подтасовка;
- фальсификация;
- абсолютизация отдельных фактов (переоценка их значимости);
- искажение содержания;
- манипуляция (преднамеренный выбор таких, которые дают одностороннее представление о действительности).

**Предмета исследования** – взаимосвязи, закономерности функционирования и развития объекта исследования, по поводу которых требуется новая (недостающая) информация;

обобщающая структура исследуемого объекта или ее отдельные частные аспекты (частные структуры), условно обособленные механизмы жизнедеятельности объекта,

предопределяющие наблюдаемые свойства рассматриваемого объекта.

**Цель** любого вида деятельности – это идеальный образ желаемого результата.

Универсальной целью исследования является **получение новых, достоверных знаний**.  
**Для определения объекта, предмета и цели** исследования необходимо осмыслить

ситуацию, нужно **предварительно и в меру** возможно полную информацию отыскать в собственном или общечеловеческом прошлом опыте и научном знании близкое по своей сущности явление и **переносит все известные ему знания о нем на новый объект исследования. Главное – найти «слабое» место!!!.**

### Рабочая гипотеза

– гипотеза исследования, выдвигаемая первоначально на основе анализа уже известной

информации и научного знания, гипотеза является **организующим началом исследования**

**Д.И. Менделеев**. Заветные мысли. СПб. 1903-1904. 285 с. “У **рабочей гипотезы** **приход** до вероятно справедливого

исследования, а тем паче до достоверного или несомненно истинного и определяет существо научной самостоятельности”.

**«Слабое место»** – можно ли использовать расчётные модели и характеристики, которые

применялись для оценки прочностной надёжности стальных конструкций;

**Научные гипотезы** — это проверяемые утверждения, связывающие исследуемые переменные и определяющие направление сбора данных об исследуемом объекте. Впоследствии истинность гипотезы и теории проверяется с опытом.

**Требования к гипотезе:**

- **релевантность**, т.е. соответствие фактам, на которые она опирается;
- **проверяемость** *опытным путем*, сопоставляемость с данными наблюдения или эксперимента (исключение составляют непроверяемые гипотезы);
- **совместимость** с существующим научным знанием;
- **возможность получения следствий** и фактов, подтверждающих гипотезу;
- **простота**, никаких произвольных допущений. (Огурцов А.Н.)

**Описательная гипотеза** – это предположение о существенных свойствах объектов.

**Объяснительная гипотеза** – это предположение о причинно-следственных зависимостях.

**Прогнозная гипотеза** – это предположение о тенденциях и закономерностях развития объекта исследования. (Огурцов А.Н.)



# Общенаучные методы

## исследования

Метод – совокупность приёмов и

## Эмпирические методы исследования операций

**Наблюдение** – метод, основанный на **непосредственном и пассивном восприятии**

(созерцании и регистрации) предметов и явлений при помощи органов чувств. Фиксировать возможно максимальное разнообразие первичной информации, точность и полнота описания наблюдаемого. **Счет** – нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров.

**Измерение** – определение численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

**Сравнение** – установление различия между объектами или сходства некоторых качеств объектов, осуществляемое при помощи органов чувств или специальных приспособлений. **Оценивание** – вычисление значения величины, если ее измерение невозможно.

**Натуральное моделирование** – создание натурального (физического) аналога исследуемого объекта (аналог по условиям функционирования, по размерам, по форме, по составу и структуре).

**Натуральное экспериментирование (эксперимент)** – процесс, при котором исследуемый объект или его натуральная модель помещаются в определённые варьируемые условия с целью оценки реакции объекта на изменение этих условий.

**Программа исследования** рассматривается как средство достижения цели исследования, как форма конкретизации концепции.

Определяет цели и задачи исследования, его предмет, условия

проведения

**Разделы программы:**

- цель исследования;
- содержание программы; актуальные и важнейшие подпроблемы;
- парадигма и рабочая гипотеза решения проблемы;
- основная концепция исследования;
- ресурсное обеспечение;
- предполагаемый результат показатели эффективности исследования.

На основе программы разрабатывается детализирующий её план.

**План исследования** — совокупность показателей, отражающих связь и последовательность

ключевых мероприятий (действий , процедур и т. д.), ведущих к полной реализации программы и разрешению проблемы

План исследования рассматривается в качестве организующего

фактора

последовательного движения к цели исследования

**Установление инвариантов** – это задача науки,  
решающей задачи на *феноменологическом уровне*,  
т.е. отвечающей на вопрос «как происходит?»

Закон Ньютона  $F = ma$ . Здесь  $m$  есть *инвариант данного тела*.

Любое явление (феномен) можно характеризовать отношением воздействия ( $Ac$ ) и реакции ( $R$ ) на это воздействие:

$$X = Ac / R$$

*Пример.* Сопротивление проводника есть отношение напряжения к силе тока

## **Аксиомы теории размерностей**

- физическая величина  $A$  не должна зависеть от выбора единицы её измерения;
- *математическое описание физического явления*, определяющее функциональную зависимость между численными значениями физических величин, *не зависит от выбора единиц измерения этих величин.*

Так как размерности правой и левой частей зависимости равны, то при делении их на постоянную той же размерности можно получить зависимость безразмерных величин.

Инварианты *явлений* – это безразмерные величины, безразмерные комплексы.

# π - теорема для безразмерных комплексов

соотношение между  $n$  размерными величинами, для измерения которых использовано  $k$  основных независимых единиц измерения, можно представить в виде соотношения  $(n - k)$  безразмерных комбинаций – комплексов этих величин

## Упругое деформирование

В инварианте  $C$  укажем, обособим геометрические параметры  $l, A$  и характеристику материала  $X$ :

$$\Delta l = C F = F \times f(l, A, X) \quad (1)$$

Зависимость (1) содержит  $n = 5$  размерных величин:

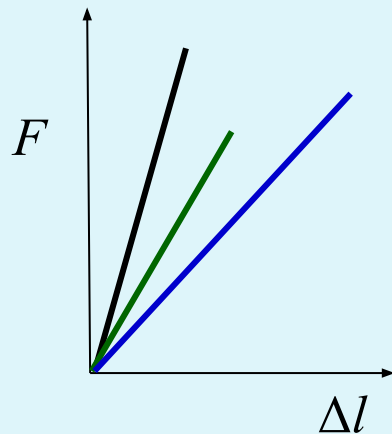
$$\Delta l, F, l, A, X;$$

и  $k = 3$  основных единиц измерения:  $m, кг, с$ .

Постулируется создание  $(n - k) = 2$

безразмерных комплексов:

$$K_1 = \Delta l / l = \varepsilon; \quad K_2 = f(A, X, F) = ?.$$



Закон Гука

$$\Delta l = C F$$

Податливость  $C$  есть

*инвариант данного образца*

Размерность  $C = м/Н$

# Размерность $X$ в $K_2 = f(A, X, F)$ не известна

А. Вводим некоторые предположения, основанные на опыте:

1. Податливость  $C$  уменьшается при увеличении площади  $A$
2. Для получения одной и той же деформации  $\Delta l$  образца большего сечения  $A$  необходимо увеличить силу  $F$

$$K_2 = F^r / (A^s; X)$$

Б. Согласно теореме размерностей  $P(F^r) = P(A^s) \times P(X)$

$$\text{Следовательно, } (\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2)^r = \text{м}^{2s} \times (\text{кг}^t \cdot \text{м}^u \cdot \text{с}^v) \quad (2)$$

Из соотношения (2) запишем равенства показателей степени:

$$\text{— для единицы измерения «кг»} \quad r = t$$

$$\text{— для единицы измерения «с»} \quad 2r = v$$

$$\text{— для единицы измерения «м»} \quad r = 2s + u$$

В. Предположим (?), что  $r = 1$

$$\text{Получим } t = 1; v = -2; 2s = 1 - u$$

Наименьшее значение  $s = 1$  и тогда  $u = -1$

$$\text{Размерность } P(X) = \text{кг} / (\text{м} \cdot \text{с}^2) = (\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2) / \text{м}^2 = \text{Н} / \text{м}^2$$

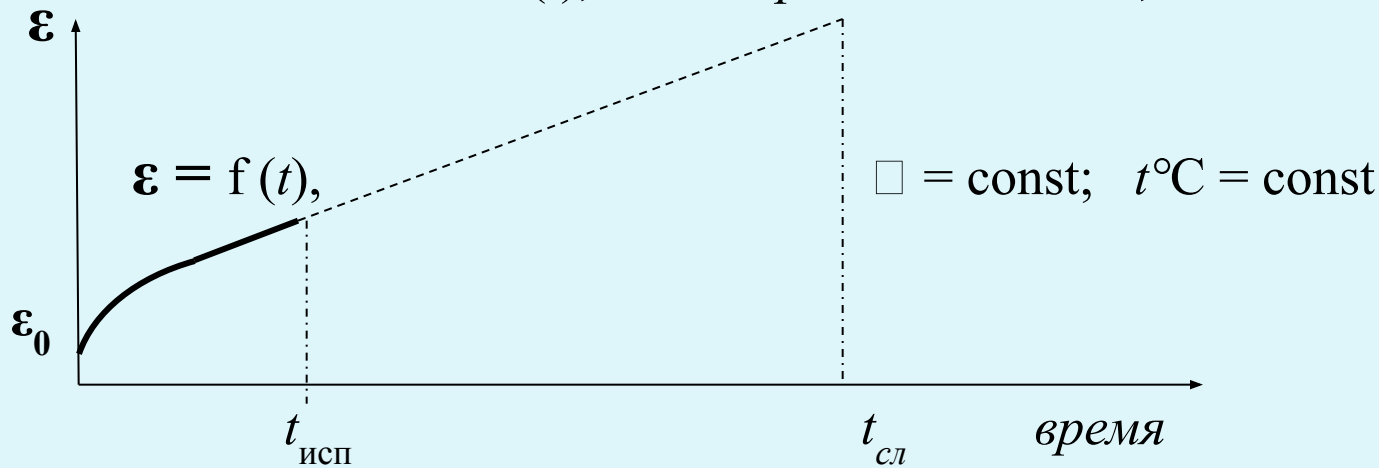
$$K_2 = F / (A; X) = \square / X = \square / E$$

$$\text{Закон Гука } K_1 = K_2; \varepsilon = \square / E$$

# Ползучесть материалов

I. В результате испытаний на ползучесть получают зависимость

$$\varepsilon = f(t), \text{ где } t - \text{ время, } \square = \text{const}, t^{\circ}\text{C} = \text{const}$$



Запишем отношение «воздействие  $dt$  – реакция  $d\varepsilon$ » в виде

$$d\varepsilon = dt / X, \text{ где } X - \text{неизвестная характеристика материала}$$

Так как  $d\varepsilon$  - безразмерная величина, то  $P(X) = P(t)$ , а  $X = Ct$

Соответственно,  $d\varepsilon = dt / X = dt / (Ct)$ ;

$$\varepsilon = \int dt / (Ct) = (1/C) \ln t + \varepsilon_0 - \text{логарифмическая ползучесть}$$

Испытания проводят при различных  $\square = \text{const}$  и получают ряд значений  $\varepsilon$  за срок испытания  $t_{\text{исп}}$ .

# Ползучесть материалов

**II.** При проектировании деталей в условиях ползучести ограничивают деформацию ползучести за срок службы допустимым значением  $\varepsilon \leq [\varepsilon]$ .

По результатам испытаний при разных значениях  $\square_i = \text{const}$  определяют  
Следовательно,  $\varepsilon = f(\square_i, t)$ . набор значений  $\varepsilon_i$ .

В безразмерное соотношение  $d\varepsilon = dt / X$  необходимо ввести  $\square/w$ ,  
где неизвестный параметр  $w$  имеет размерность  $\text{Н/м}^2$ .

Теперь отношение «воздействие–реакция» запишем в виде

1.  $d\varepsilon = (\square/w)^m dt / X$ , где  $m$  – неизвестный показатель степени;

2.  $d\varepsilon = \exp(\square/w)^m dt / X$ .

Ранее было показано, что  $\mathbf{P}(X) = \mathbf{P}(t)$ , а  $X = Ct$ .

Соответственно,  $d\varepsilon = (\square/w)^m dt / (Ct)$ .

(3) А. Если в (3)  $w = \text{inv}$ , то  $\varepsilon = C_2 \square^m \ln t + \varepsilon_0$ .

(4) Размерность  $\mathbf{P}(w) = \text{Н/м}^2 = \text{Нм/м}^3 = \text{Дж/м}^3$ .

Если экспериментально получены зависимости (4), то  $w = \text{inv}$ .

*Вывод.* Данный материал сохраняет способность рассеивать энергию деформирования в процессе ползучести.

# Ползучесть материалов

Б. При повышенных температурах кривые ползучести обычно имеют линейный участок, соответственно, скорость ползучести  $d\varepsilon / dt = \text{const}$ .

$$\text{В этом случае } d\varepsilon / dt = (\sigma/w)^m dt / (C t) = \text{const} \quad (5)$$

При  $\sigma = \text{const}$  и  $C = \text{const}$  из (5) следует, что  $w^m \times t = \text{inv}$

Следовательно, с увеличением времени под нагрузкой  $w$  *уменьшается*.

Способность материала рассеивать энергию деформирования снижается.

В материале накапливаются различные повреждения (поры, трещины).

**III.** Ползучесть исследуется обычно в некотором интервале температур при  $T_i = \text{const}$  и интервале напряжений  $\sigma_j = \text{const}$ .

В этом случае отношение «воздействие–реакция» запишем в виде

$$d\varepsilon = \exp [-(U_0 - \gamma \sigma) / (kT)] (\sigma/w)^m dt / (Ct), \quad (6)$$

где  $U_0$ ,  $\gamma$  – параметры материала ;  $k$  – постоянная Больцмана

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}(\text{°C})^{-1}$$

*Вывод.* 1. В соотношении (6) 9 величин при 3 единицах изменения, возможны 6 безразмерных комплексов – *критериев подобия*.

2. Практически невозможно выполнить требование постоянства 6 безразмерных комплексов одновременно. Поэтому (6) следует использовать только для аппроксимации экспериментальных данных.



# Радиационное повреждение

Радиационное повреждение материалов активной зоны атомных реакторов проявляется в увеличении удельного объёма материала.

**Воздействие** на материал представим тремя величинами:

$E$  – энергия частиц, Мэв;  $\phi$  – плотность потока частиц,  $1/\text{см}^2$  ;

$dt$  – продолжительность облучения, с.

**Реакция материала** – относительное увеличение объёма  $\Delta V/V$ .

**Характеристика материала**  $X = E \phi dt / d (\Delta V/V)$

Тогда  $d (\Delta V/V) = E \phi dt / X$ ,

где  $P(X) = P(E \phi dt) = \text{Мэв} \cdot \text{с} / \text{см}^2 = P(w) \cdot P(t) \cdot P(l)$ ,

здесь  $w$  – энергия, диссипируемая единицей объёма;

$l$  – линейный параметр, например, длина свободного пробега частиц

Тогда зависимость определяющих величин представим в виде

$$d (\Delta V/V) = E \phi dt l / (w t) = [E \phi l / w] dt / t \quad (8)$$

Соотношение (8) аналогично (3) и (5).

Выводы, полученные на основе (3) и (5), применимы и в данном случае.

# Длительная прочность

Длительная прочность – разрушение материала под действием постоянного

напряжения  $\sigma = \text{const}$  ( $\sigma < \sigma_B$ ).

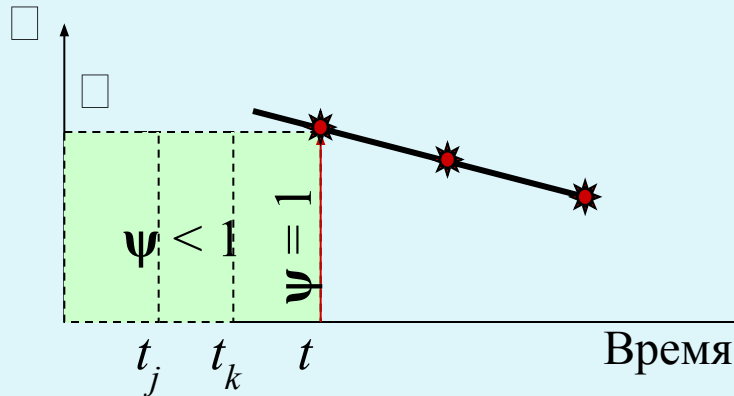
Отношение «воздействие–реакция»:

1. **Воздействие** изменяет материал.

Это время  $t$  действия напряжения  $\sigma = \text{const}$

2. **Реакция** – то, что изменяется в материале.

Материал разрушается за время  $dt$  на  $d\psi$ .



При очень малом времени  $t_0$  принять  $\psi_0 = 0$ , а  $\psi = 1$  (безразмерная) при  $t_{\square}$ .

3. **Характеристика**  $X = dt / d\psi$ . Тогда  $d\psi = dt / X = dt / (Ct)$ ,

$$\int d\psi = \int dt / (Ct) \Rightarrow 1 = (1/C) \ln t_{\square} / t_0, t_{\square} = t_0 \exp C.$$

В случае различных  $\sigma_i = \text{const}$  запишем в безразмерной форме

$$t_{\square} = t_0 (\sigma/w)^{-m} \exp C \quad \text{или} \quad t_{\square} = t_0 \exp(-\sigma/w) \exp C$$

При испытании в интервале температур  $T_i = \text{const}$  и напряжений  $\sigma_j = \text{const}$ .

$$t_{\square} = t_0 \exp [(U_0 - \gamma \sigma) / (kT)] (\sigma/w)^{-m} \quad (7)$$

**Вывод.** Практически невозможно выполнить требование постоянства одновременно 6 безразмерных комплексов в (7). Поэтому (7) следует использовать только для аппроксимации экспериментальных данных.

# Разрушение тел с трещиной при кратковременной статической нагрузке

А.А. Гриффитс исследовал образцы из практически хрупкие материалов.

Используя энергетический подход, он предположил, что трещина растёт, если энергия  $W$  упругой деформации, освобождаемая в теле образца при увеличении длины трещины на  $\delta l$ , превышает энергию  $\Gamma$ , расходуемую на увеличение поверхности трещины.

Предельному состоянию соответствует  $\partial (W - \Gamma) / \partial l = 0$  (9)

Решение (9) для пластины

Энергия упругого деформирования:

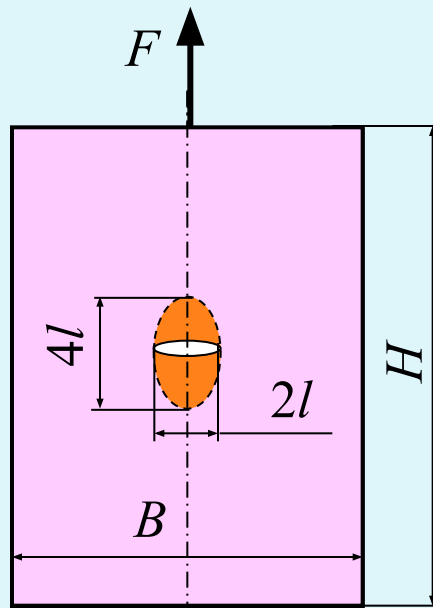
- для пластины без трещины  $[\sigma^2/(2E)] \cdot BhH$ ,
- для пластины с трещины  $[\sigma^2/(2E)] \cdot (BhH - \pi \cdot l \cdot 2lh)$ ,
- освобождаемая энергия  $W = [\sigma^2/(2E)] \cdot \pi \cdot 2 l^2 h$ ,
- энергия на образование трещины  $\Gamma = 2\gamma \cdot 2lh$ .

Тогда  $\partial (W - \Gamma) / \partial l = [\sigma^2/(2E)] \cdot 4 \pi \cdot l h - 4 \gamma h = 0$ ,

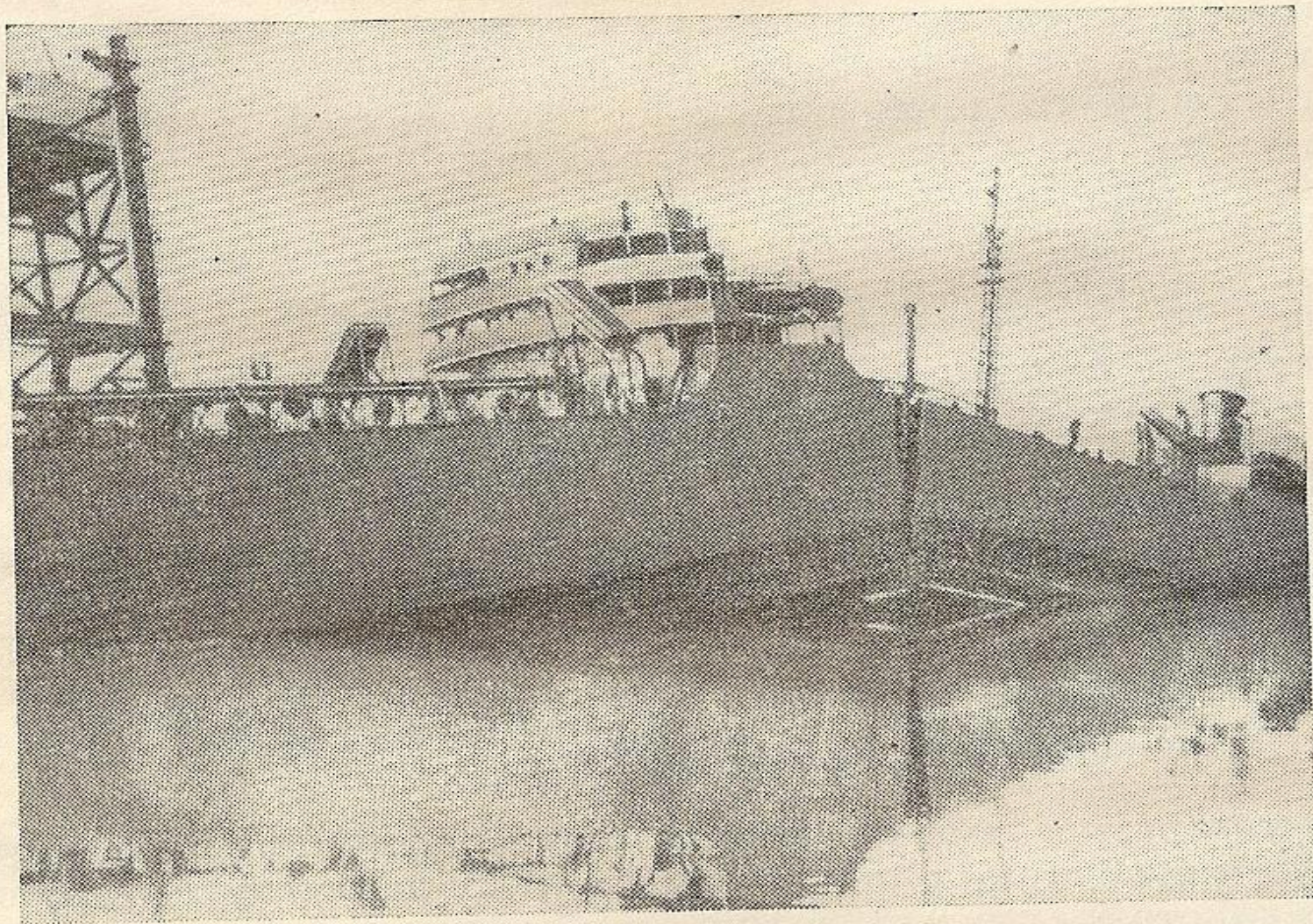
критическое  $\sigma_c = \sqrt{2 E \gamma / (\pi l)}$  – для плоского НС,

$\sigma_c = \sqrt{2 E \gamma / [(1 - \nu^2) \pi l]}$  – для плоского ДС.

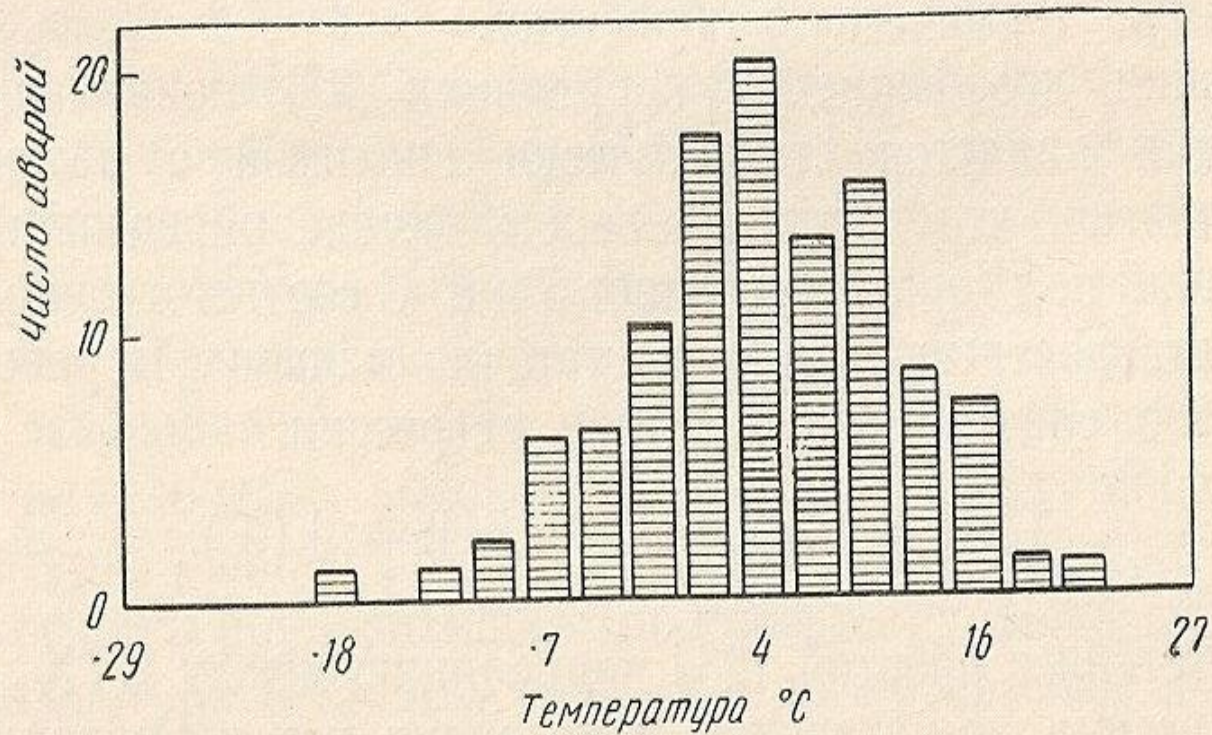
Критическая длина трещины  $l_c = 2 E \gamma / (\pi \sigma^2)$



$$\begin{aligned} 2l &\ll B \\ h &\ll B \end{aligned}$$



Морское судно после хрупкого разрушения сварного корпуса  
из кипящей стали



Частота аварий судов при различных температурах воздуха

# Разрушение тел с трещиной при кратковременной статической нагрузке

Энергетический подход А.А. Гриффитса, в котором  $\gamma$  есть поверхностная энергия данного вещества. оказался неприменим к разрушению металлов.

Учитывая, что разрушающее напряжение  $\sigma_c$  существенно зависит от длины трещины  $l$ , запишем отношение «воздействие-реакция»:

- «воздействие» при мгновенном разрушении пластины с трещиной – это напряжение  $\sigma$ , длина трещины  $l$  и время  $dt$ ;
- «реакция» материала – это увеличение повреждённости на  $d\psi$ ;

Разрушающее  $\sigma_c < \sigma_T \Rightarrow$  в соотношение есть безразмерный комплекс  $\sigma/E$ .

Тогда  $d\psi = (\sigma/E)^m (\sigma l / X)^n dt$  где безразмерны  $\sigma/E$ ;  $C$  и  $\sigma l / X$ .

$R(\sigma) = P[\sigma l] = \text{Нм/м}^2 = \text{Дж/м}^2$   $X$  – это энергия образования единицы площади трещины, или  $1 \text{ м}^2$ .

При  $m = 1$ ,  $n = 1$  и  $(d\psi/dt) t = 1$  (при разрушение  $\psi = 1$ ) получим

$$\sigma_c^2 l / (EXC) = 1, \quad \sigma_c^2 l / C = K_c^2 = EX, \text{ где } K_c = \sigma_c \sqrt{cl} -$$

**критический коэффициент интенсивности напряжений (КИН)**

Условие прочности запишем в виде  $K = \sigma \sqrt{cl} \leq K_c / [s_c]$ . Метод расчёта  $K$  !?!

$K^2/E = G$  – приток энергии в вершину трещины.

Рост трещины не происходит,

если  $G \leq G_c$  – критическое значение. По Гриффитсу  $G_c = 2\gamma$ .

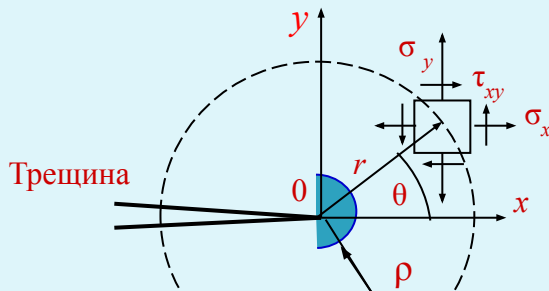
Для ПДС  $(1 - \nu^2) K_{Ic}^2 = EG_{Ic}$ ;  
 Для ПНС  $K_c^2 = EG_c$ .

# Напряжённое состояние вблизи вершины трещины

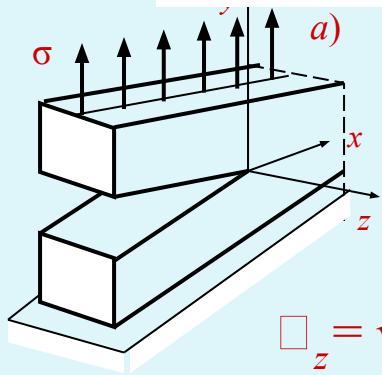
Методами теории упругости получены решения для концентраторов, радиус вершины которых  $r \ll l$ , но  $r \gg a$  межатомного расстояния.

В 1957 г. (через 45 лет после Гриффитса) Дж.Р. Ирвин предложил считать, что

- минимальный  $r = \rho$  – радиус зоны пластической деформации в вершине трещины;
- при  $\rho \ll l$  и  $\rho \ll (B - 2l)$  не учитывать влияние пластической деформации на напряжённое состояние материала в области вне  $\rho$ .



## 1. Трещина отрыва



$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \begin{cases} 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \end{cases}$$

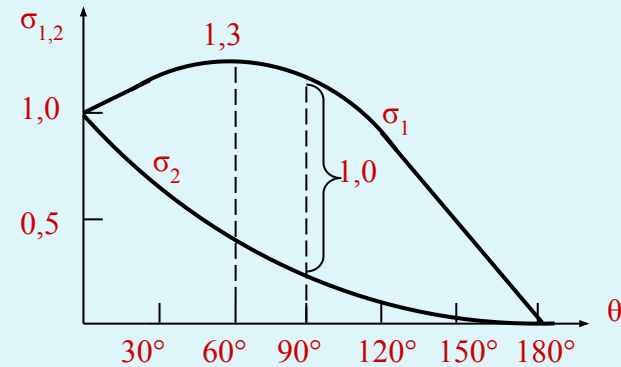
$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \begin{cases} 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \\ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \end{cases}$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}$$

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y); \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$$

$$K_I = \lim_{\substack{r \rightarrow \rho \\ \theta \rightarrow 0}} \sigma_y \sqrt{2\pi r}; \quad \sigma_y = \sigma(l+r) / \sqrt{(l+r)^2 - l^2}$$

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi l} - \text{КИН при растяжении}; \quad K_{II} = K_{III} = 0$$



1.  $\sigma_{max}$  при  $\theta = \pm 60^\circ$

2.  $\sigma_1(\theta) = \sigma_2(\theta)$  при  $\theta = \pm 90^\circ$

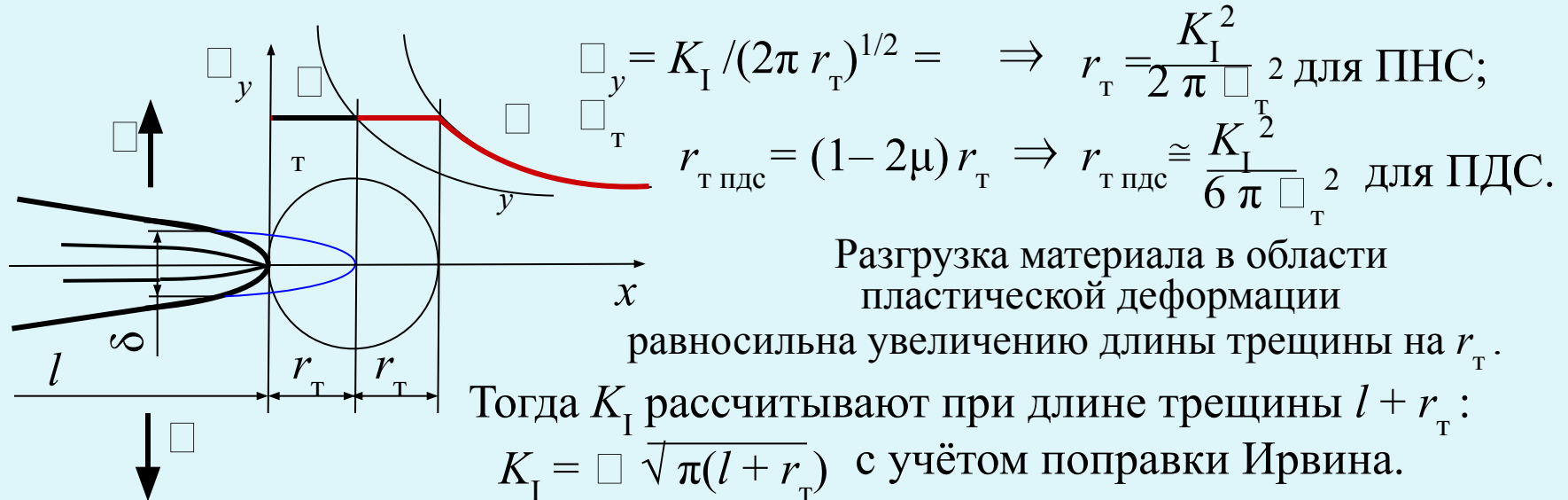
3.  $\tau_{max} = 1/2 \sigma_1(0^\circ) = 1/2 \sigma_2(0^\circ)$  при  $\theta = \pm 90^\circ$

$\sigma_1(90^\circ) - \sigma_2(90^\circ) = 2\tau_{max}$

4.  $E_{pF} = max$  при  $\theta = \arccos 1/3 \cong \pm 70^\circ$

## 2. Пластическая деформация в вершине трещины

Дж.Р. Ирвин предложил использовать решения теории упругости, но вводить при этом поправку на размер области пластической деформации.



$G = K_I^2/E \cong m \sigma_T^2 \delta$ , где  $m = 1 \dots 3$ , учитывает упрочнение в результате пластической деформации.

Пластическое смещение  $\delta$  в вершине трещины принимают равным  $\delta \cong K_I^2/(E\sigma_T)$ .

**Вывод.** Радиус пластической зоны  $r_T$ , пластическое смещение  $\delta$  и интенсивность потока энергии  $G$  в вершине трещины зависят от

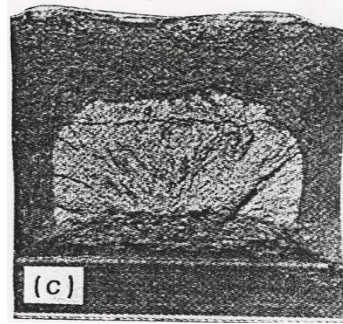
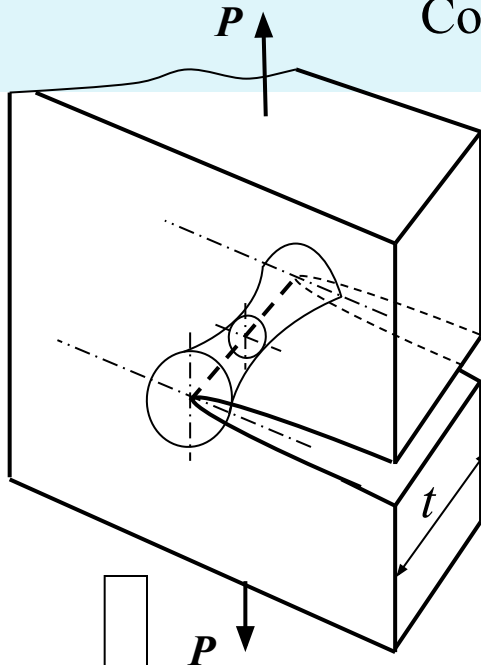
- напряжённости материала ( $K_I$ );
- напряжённого состояния материала (ПНС или ПДС);
- сопротивления материала пластической деформации ( $\sigma_T$ ).



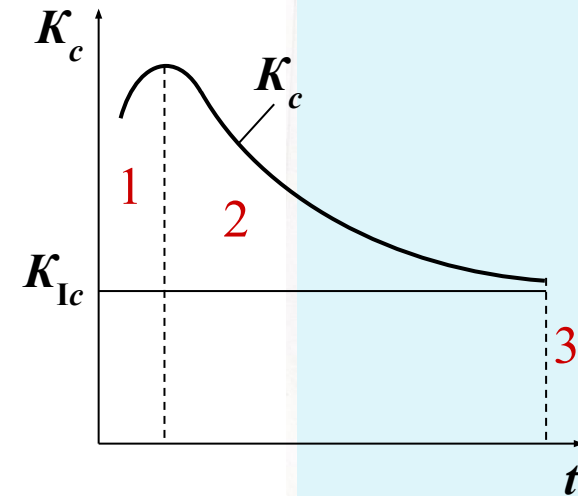
# Зависимость критического КИН от толщины образца

При одноосном растяжении напряжённое состояние изменяется от плоского ( $\sigma_3 = 0$ ) на поверхности до всестороннего растяжения ( $\sigma_3 > 0$ ) в сердцевине.

Соответственно,  $r_T = \frac{K_I^2}{2\pi\sigma_T^2} \downarrow$  до  $r_{T\text{ пдс}} \cong \frac{K_I^2}{6\pi\sigma_T^2}$  при  $t \rightarrow \infty$ , сопротивление разрушению уменьшается.



Эффект тоннелирования



1 – область вязкого разрушения сдвигом ( $K_c \uparrow$  при  $t \uparrow$ );

2 – область смешанного разрушения ( $K_c \downarrow$  при  $t \uparrow$ );

3 – область хрупкого разрушения ( $K_c \cong \text{const}$  при  $t \uparrow$ )

$$K_c \rightarrow K_{Ic}$$

# Ограничение при определении критического КИН $K_{Ic}$

Стандартом указывается граничная толщина образцов для корректного определения критического КИН  $K_{Ic}$ :  $t_{\Gamma} \geq 2,5 (K_{Ic} / \sigma_T)^2$

Протяжённости пластической зоны  $2r_T$  к толщине  $t_{\Gamma}$  составляет

$$\beta = 2r_T / t_{\Gamma} = 2 \frac{K_{Ic}^2}{2\pi \sigma_T^2} : [2,5 (K_{Ic} / \sigma_T)^2] \cong 1/8.$$

*Вывод*

Минимальная толщина образца должна быть в 8 раз больше диаметра пластической зоны.

*Пример.*

При 20°C критический  $K_{Ic} = 100 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  стали 20 нормализованной,  $\sigma_T = 270 \text{ МПа}$ .

$$t_{\Gamma} \geq 2,5 (K_{Ic} / \sigma_T)^2 = 2,5 (100 / 270)^2 \text{ м} = 0,34 \text{ м} = 340 \text{ мм} (!?!)$$

Ширина стандартного образца с центральной трещиной  $b \geq 8 t$ ,

длина трещины  $2l = (0,3 \dots 0,5) b$ .

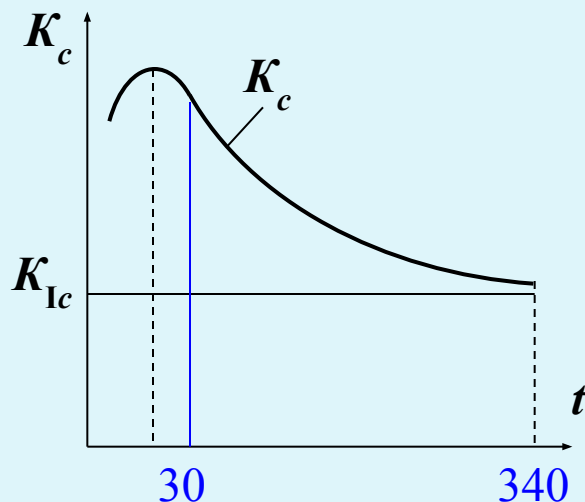
В данном случае  $b \geq 2720 \text{ мм}$  и  $2l \cong 1000 \text{ мм}$ ;  
площадь поперечного сечения  $\cong 0,585 \text{ м}^2$ .

Требуемое усилие порядка 160 Мн, или  $16 \cdot 10^6 \text{ кгс}$ .

Таких испытательных машин нет!!!

**Внимание.**

При расчёте деталей из стали 20 толщиной стенок 30 мм использование  $K_{Ic}$  приведёт к необоснованному завышению требований к размерам трещин или занижению допускаемых напряжений.



# Ограничение при определении критического КИН $K_{Ic}$

Для стали 20 значение  $G_{Ic} = K_{Ic}^2 / E = (100 \cdot 10^6)^2 / (2 \cdot 10^{11}) = 0,5 \cdot 10^5$  Дж/ м<sup>2</sup>,  
или  $G_{Ic} = 5$  Дж/ см<sup>2</sup>. Для сравнения:  $KCU \geq 50$  Дж/ см<sup>2</sup> стали 20.

## Пример

При 20°C критический  $K_{Ic} = 92$  МПа · м<sup>1/2</sup> стали Н18К9М5Т при  $\sigma_T = 1670$  МПа.

Сталь Н18К9М5Т ( $\leq 0,03\%C$ ,  $\approx 0,7\% Ti$ ) мартенситностареющая.

Закалка 850°C ( $\sigma_{0,2} \approx 1100$  МПа,  $KCU \approx 200$  Дж/ см<sup>2</sup>)

+ отпуск 500°C ( $\sigma_{0,2} \approx 2000$  МПа,  $KCU \approx 40 \dots 60$  Дж/ см<sup>2</sup> при - 40 °С).

В данном случае  $t_r \geq 2,5 (K_{Ic} / \sigma_T)^2 = 2,5(92/1670)^2 \text{ м} = 0,0076 \text{ м} = 7,6 \text{ мм}$ .

Ширина стандартного образца с центральной трещиной  $b \geq 8 t = 60$  мм,  
длина трещины  $2l \cong 20$  мм, площадь поперечного сечения  $\cong 300$  мм<sup>2</sup>.

Требуемое усилие всего порядка  $50 \cdot 10^3$  кгс.

## Внимание

Линейная механика разрушения применима,

если  $t_r \geq 2,5 (K_{Ic} / \sigma_T)^2$  с учётом поправки Ирвина на длину трещины.

В этом случае распространение трещин контролируется КИН, а критический КИН =  $K_{Ic}$ .

Считается корректным применение линейной механики разрушения, если  
критическое напряжение в сечении с трещиной не более  $0,8 \sigma_T$ .

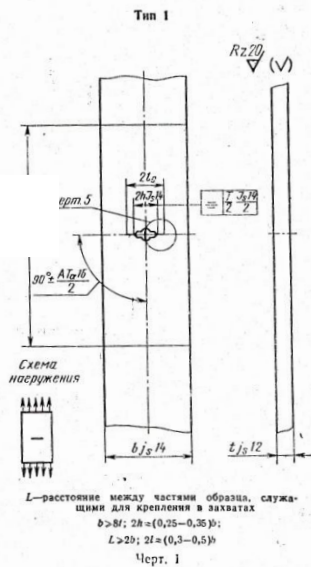
Если  $\sigma > 0,8 \sigma_T$ , то применяют методы нелинейной механики разрушения,  
основанные на использовании теории пластичности.

# Определение трещиностойкости металлов (ХТС) при статическом нагружении (ГОСТ 25506-85)

ГОСТ 25506 -85 устанавливает методы определения ХТС образцов не менее 1 мм при температурах от  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ХТС используют

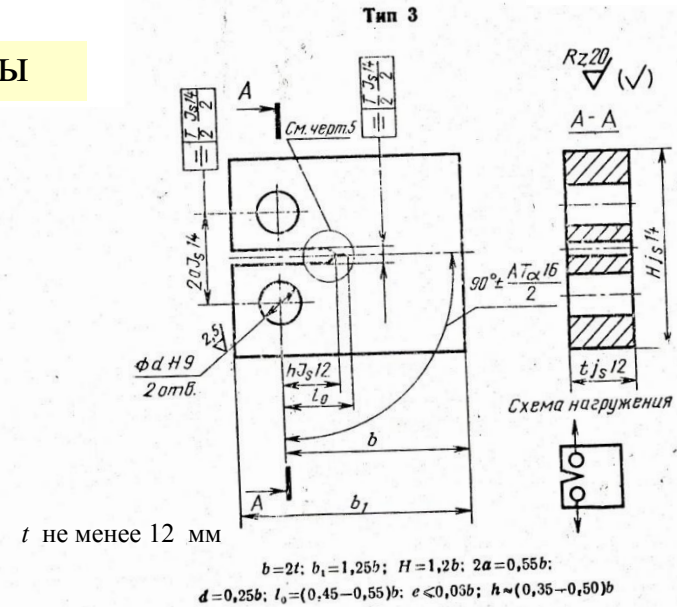
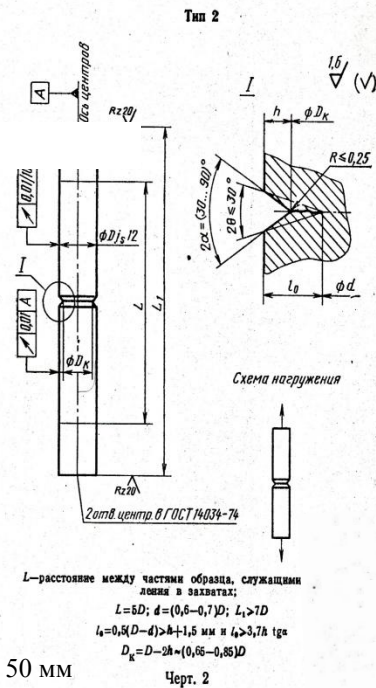
- при сравнении вариантов состава и структуры сплавов, технологических процессов;
- при обосновании способов контроля и выбора материалов машин и конструкций;
- при расчётах на прочность элементов конструкций с трещинами;
- при анализе причин аварий и разрушения конструкций.

## Стандартные образцы

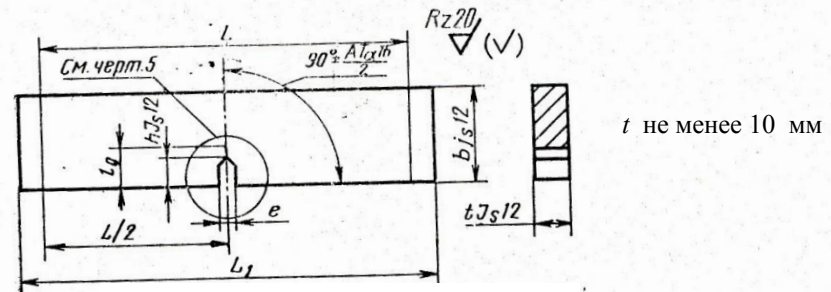


$b$  не менее 50 мм

$D$  не менее 50 мм



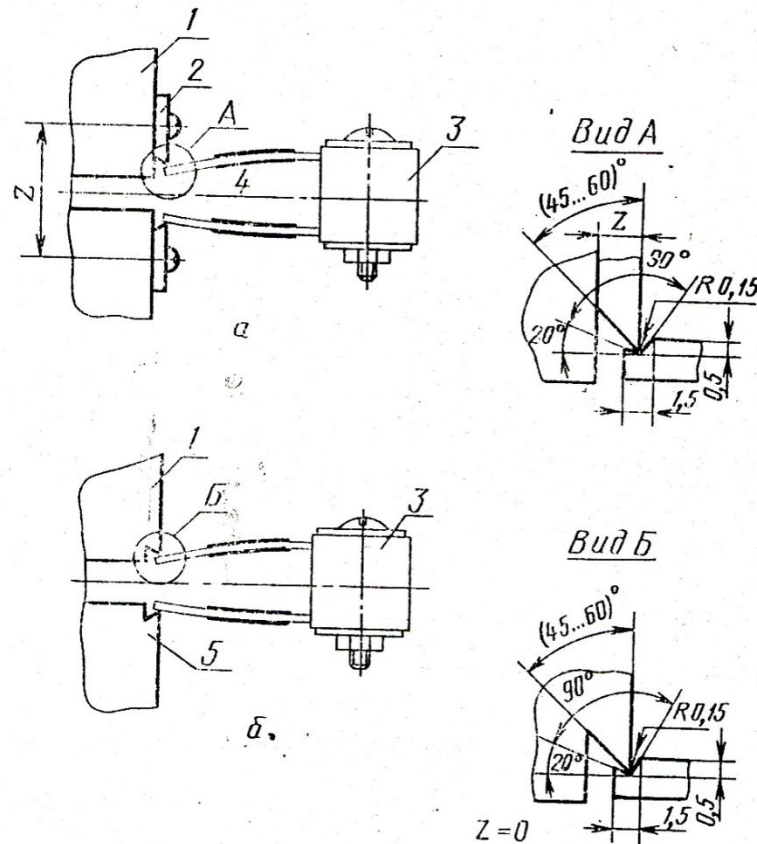
Тип 4



Критические  $J_c$  и  $J_{cI}$  определяют на образцах 3 и 4.

# Испытание образцов

Образцы испытывают на разрывных машинах с записью диаграмм нагружения в координатах «нагрузка – смещение» ( $P - v$ ) или «нагрузка – прогиб» ( $P - f$ ).



1—образец; 2—накладные опорные призмы; 3—датчик смещения; 4—плоскость надреза; 5—призматические выступы

Черт. 6

Измерение смещений  $v$  и погибов  $f$  производится двухконсольным тензодатчиком.

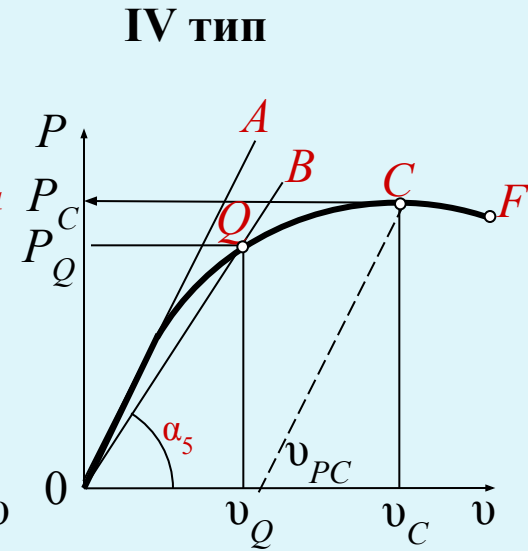
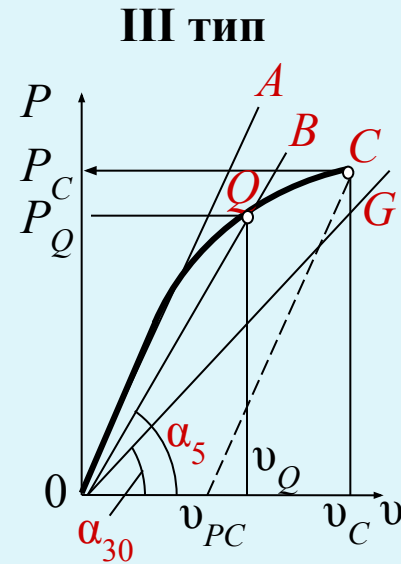
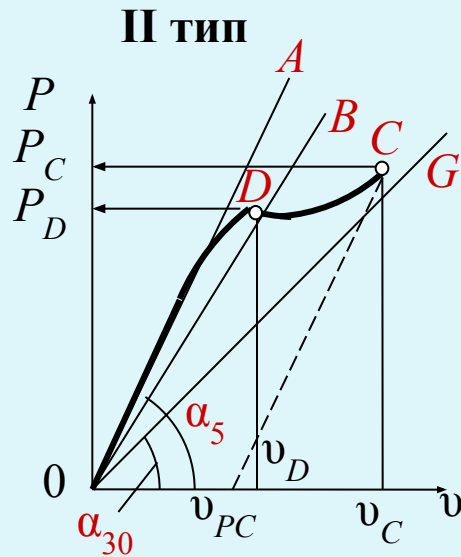
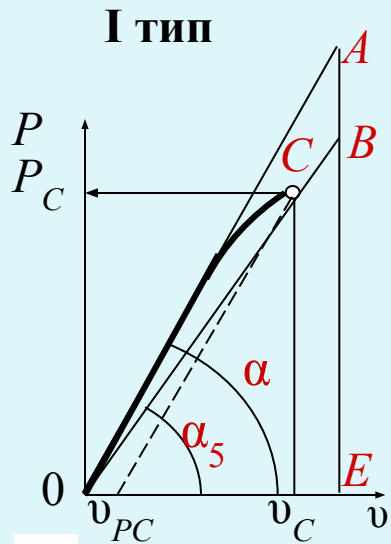
Погрешность датчиков не более  $\pm 0,01$  мм. Разность показаний прямого и обратного хода рабочего диапазона диаграммы до 2%..

Скорость нагружения на линейном участке диаграммы  $(0,5 \div 1,5) \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Масштаб по оси  $K$  диаграммы не менее 50:1, по оси  $v$  или  $f$  — не менее 25:1.

Тангенс угла наклона линейного участка диаграммы в пределах от 1 до 3.

# Характерные типы диаграмм



В случае I типа после разрушения образца определяют длину усталостной трещины как среднее арифметическое трёх измерений на расстоянии  $0,25t$ ,  $0,5t$ ,  $0,75t$  от внешней поверхности плоского образца.

Для цилиндрических образцов определяют максимальное и минимальное значение диаметра; если разность более 10%, отбраковывают.

В случае разрушения образцов По II, III или IV типу необходимы дополнительные несколько образцов с замером подрастания трещины при испытании.

# Обработка результатов

## Вычисление критических КИН

1. По значениям  $P_Q$  определяют **расчётное значение**  $K_Q$  по формулам для КИН:
- $K_Q = [P_Q / (tb^{1/2})] \cdot Y_1$  – для образцов типа 1 ;
  - $K_Q = [P_Q / D^{3/2}] \cdot (Y_2' + Y_2'')$  – для образцов типа 2 ;
  - $K_Q = [P_Q / (tb^{1/2})] \cdot Y_3$  – для образцов типа 3;
  - $K_Q = [P_Q L / (tb^{3/2})] \cdot Y_4$  – для образцов типа 4 .

Значения  $Y_1, Y_2', Y_2'', Y_3, Y_4$  табулированы.

Допускается поправочные функции вычислять по формулам:

$$Y_1 = 0,2369 [1 + 6,627 (2l/b)]; \quad Y_2' = 4 [1 - 1,0179 (d/D)]; \quad Y_2'' = 3,1 (2s/d) \text{ при } 2s < 0,08 d;$$

$s$  – расстояние между центром поперечного сечения и центром излома

$$Y_3 = -5,219 [1 - 5,739(l/b)]; \quad Y_4 = -1,555 [1 - 5,456(l/b)].$$

2. Вычисление **критического**  $K_{IC}$  по тем же формулам для  $K_Q$  по следующей схеме:

- по  $K_Q$  и  $\sigma_T$  рассчитывают критического значение толщины образца  $t_{PK} = \beta_K (K_Q / \sigma_T)^2$ ,  
 $\beta_K = 2,5$  для сталей, алюминиевых, титановых и магниевых сплавов,  $\beta_K = 0,6$  для чугуна;  
для цилиндрических образцов  $D_{PK} = 2,3 (K_Q / \sigma_T)^2$ ,  $d_{PK} = 1,6 2,3 (K_Q / \sigma_T)^2$ .
- принимают  $K_{IC} = K_Q$ , если  $P_C \leq 1,1 P_Q$  (или  $P_C \leq 1,1 P_D$ )  
и если выполняется одно из двух неравенств:

1)  $t_{PK}/t \leq 1$  и  $\phi_C = [(t - t_C)/t] \cdot 100\% \leq 1,5\%$ , где  $t_C$  – средняя толщина в зоне разрушения;

2)  $v_C \leq 1,2 v_Q$  или  $v_C \leq 1,2 v_D$ ; для цилиндрических  $D_{PK}/D \leq 1$  и  $d_{PK}/d \leq 1$ .

## Вычисление критических КИН

3. Значения **условного критического** КИН  $K^*$  при *исходной длине трещины* определяют по тем же формулам, заменяя в них  $P_Q$  на  $P_C$ .

4. **Критический** КИН  $K_{QT}$  при нагрузке  $P_Q$  и *длине трещины*  $l_T$  (с учётом поправки на пластическую деформацию в вершине трещины) определяют в зависимости от  $\sigma_{C0}/\sigma_T$ .

Значение  $\sigma_{C0}$  вычисляют по формулам:  $\sigma_{C0} = P_Q / [(b - 2l) t]$  для образцов типа 1;

$$\sigma_{C0} = 4P_Q / (\pi d^2) \quad \text{для образцов типа 2;}$$

$$\sigma_{C0} = P_Q [1 + 3(b + l)/(b - l)] / [(b - l) t] \quad \text{для образцов типа 3;}$$

$$\sigma_{C0} = 6P_Q b / [(b - l^2) t] \quad \text{для образцов типа 4;}$$

• Вычисляют значение  $K_Q$  по формулам для КИН, если  $\sigma_{C0}/\sigma_T < 0,8$ ;

• Вычисляют по полученному  $K_Q$  значение расчётной длины (полудлины) трещины  $l_T$ :

1)  $l_T = l + (K_Q / \sigma_T)^2 / (\gamma \pi)$  для плоских образцов, где  $\gamma = 210 t^* + 1,8$  при  $t^* = 1 \cdot 10^{-3} \dots 20 \cdot 10^{-3}$  и  $\gamma = 6$  при  $t^* > 20 \cdot 10^{-3}$  ( $t^*$  – безразмерное значение, численно равно толщине образца в м).

2)  $d_T = d - (K_Q / \sigma_T)^2 / (3\pi)$  для цилиндрических образцов.

• Вычисляют значение  $K_{QT}$  по формулам КИН, заменяя  $l$  на  $l_T$  (или  $d$  на  $d_T$ ).

5. **Критический** КИН  $K_C$  при *данной толщине* (или диаметре) образца рассчитывают по формулам КИН  $K_{QT}$  с заменой  $P_Q$  на  $P_C$ , если  $\sigma_{C0}/\sigma_T < 0,8$ .



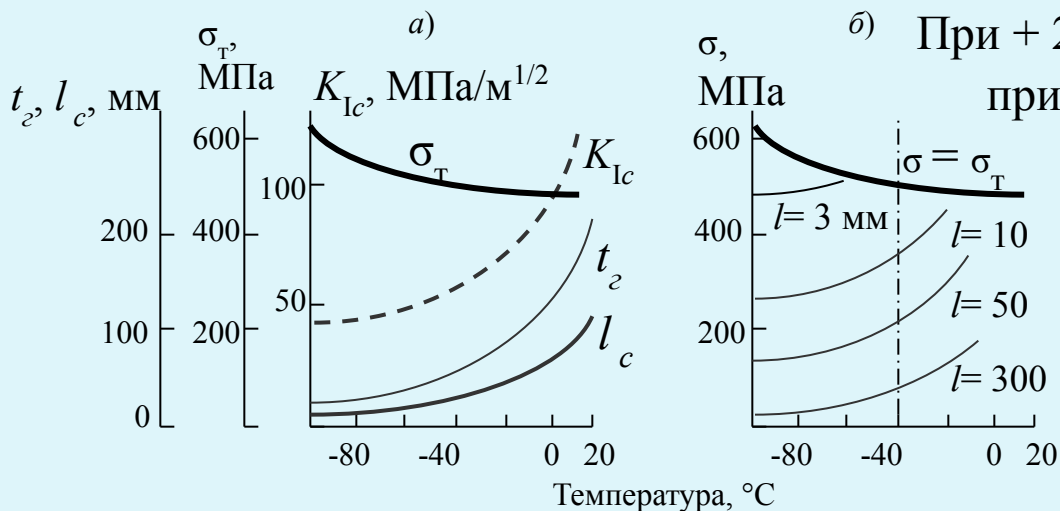
## Вычисление критических КИН

Критический КИН	Наименование КИН	Расчётное усилие	Расчётная длина трещины	Примечание
$K_Q$ $K_{1C} = K_Q$	Расчётный КИН при предельном стеснении деформации	$P_Q$ или $P_D$	$l_0$	Условия корректности выполняются
$K_{QT}$	Критический для образца данной толщины	$P_Q$ или $P_D$	$l_T$ или $d_T$	Условия корректности не выполняются,
$K_C$	Критический для образца данной толщины при максимальной нагрузке	$P_C$	$l_T$ или $d_T$	НО
*	Критический условный для образца данной толщины			$\sigma_{C0} / \sigma_T < 0,8$
$K_C$		$P_C$	$l_0$	

# Влияние температуры на критический КИН $K_{Ic}$

Пример. Сталь 20ГНМ,  $\sigma_T = 500$  МПа при  $20^\circ$   
С.

На рис а даны зависимости  $\sigma_T(t^\circ\text{C})$  и  $K_{Ic}(t^\circ\text{C})$ .



б) При  $+20^\circ\text{C}$   $t_r = 225$  мм;  $K_{Ic} = 150$  МПа $\cdot$ м $^{1/2}$ ;  
при  $-100^\circ\text{C}$   $K_{Ic} = 42$  МПа $\cdot$ м $^{1/2}$  и  $t_r = 17$  мм.

По формуле  $K_I = \sigma \sqrt{\pi(l + r_T)}$   
находят разрушающее напряжение  $\sigma$   
при данной длине трещины  $l$  и  $t^\circ\text{C}$ .

Расчётные значения даны на рис. б.

Сравним значения разрушающего напряжения  $\sigma$  при рабочей температуре  $-40^\circ\text{C}$ ,

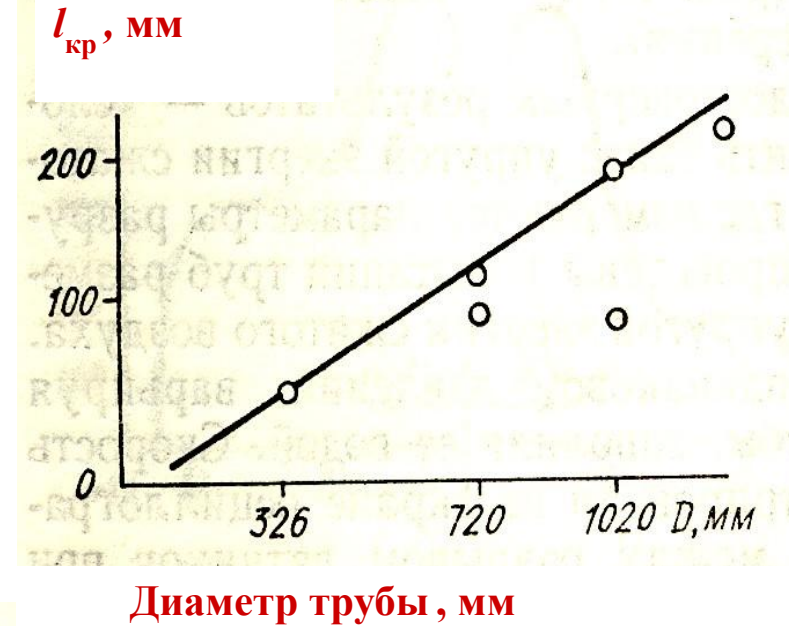
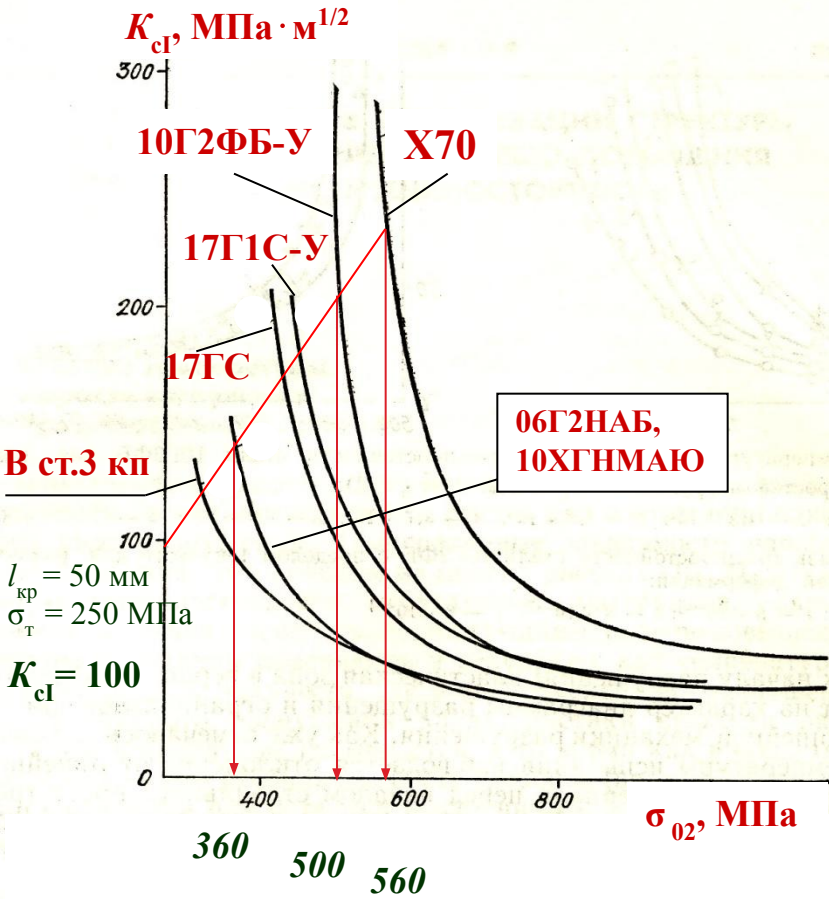
- при  $l = 3$  мм хрупкого разрушения нет;  $K_{Ic} = 55$  МПа $\cdot$ м $^{1/2}$  и  $\sigma_T = 520$  МПа
- при  $l = 10$  мм хрупкое разрушение имеет место  $\sigma = 0,6 \sigma_T$ ;
- при  $l = 50$  мм хрупкое разрушение имеет место  $\sigma = 0,28 \sigma_T = 140$  МПа  $<$   $[\sigma] = 250$  МПа (!)

Допускаемые значения характеристик принимают одним из двух способов:

- по условию  $s_K = K_{Ic} / K_I \geq [s_K]$  определяют допускаемое значение длины трещины данного материала  $[l] = (K_{Ic} / [s_K])^2 : (\pi \sigma^2)$ ; в условиях эксплуатации должно быть  $l \leq [l]$ ;
- по условию  $s_l = l_c / [l] \geq [s_l]$ , где  $[l]$  – конструктивно допустимая длина трещины, определяют требуемое значение критической длины трещины материала  $[l_c] = [l] \cdot [s_l]$  и требуемое значение  $[K_{Ic}] = \sigma \sqrt{\pi [l_c]}$ ; материал выбирают по условию  $K_{Ic} \geq [K_{Ic}]$ .

Пример. Разрушение шкворня подъёмных кранов.

# Механические характеристики трубных сталей



При  $l_{кр} = 50 \text{ мм}$ ,  $[s_k] = \text{idem}$   
 $K_{cl} / \sigma_{02} = \text{idem}$

# Применение КИН $K_{Ic}$ при определении причины аварии

*Пример.*

Цилиндр мультипликатора гидравлического молота разрушился при ковке заготовки.

*Возможные причины:* - отказ системы аварийного сброса давления;  
- или недостаточная прочность цилиндра.

*Сбор информации.*

- материал цилиндра сталь 30ХНМ; по справочным данным  $\sigma_T \geq 600$  МПа,  $K_{Ic} = 90$  МПа $\cdot$ м<sup>1/2</sup>;
- диаметр цилиндра  $d = 600$  мм,  $D = 720$  мм, толщина стенки  $t = 60$  мм;  $p = 400$  атм.
- разрыв произошёл вдоль образующей цилиндра; в изломе отчётливо видна исходная трещина глубиной  $l = 30$  мм и длиной 150 мм со следами остановок на поверхности исходной трещины.

*Расчёт.*

- при  $K_{Ic} = 1,26 \sigma_T \sqrt{\pi l} = 90$  МПа $\cdot$ м<sup>1/2</sup> разрушающее напряжение  $\sigma_c = 233$  МПа;
- расчётное давление при разрыве цилиндра  $p_c = \sigma_c (D^2 - d^2) / (D^2 + d^2) = 47$  МПа = 412 атм;
- эквивалентное напряжение  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 2p D^2 / (D^2 - d^2) = 307$  МПа.
- запас статической прочности  $s = \sigma_T / \sigma_{\text{ЭКВ}} = 600/307 = 1,95 \approx [s]$ ;
- значение  $p_c$  всего на 3% превышает максимальное давление мультипликатора.

**Вывод.**

Вероятно, разрушение произошло в результате удара по заготовке, температура которой несколько ниже минимальной температурыковки.

**Прочность цилиндра по условию  $s_l = l_c / [l] \approx 1,06 \ll [s_l] = 5$**

**недостаточна.**

## Вычисление раскрытия трещины $\delta_C$

Значение  $\delta_C$  вычисляют для точки  $C$  диаграмм всех типов по формулам:

$$\delta_C = \frac{K_C^{*2}(1 - \mu^2)}{2\sigma_T E} + \nu_{PC} \quad \text{для образцов типов 1 и 2;}$$

$$\delta_C = \frac{K_C^{*2}(1 - \mu^2)}{2\sigma_T E} + \nu_{PC} \cdot \frac{(b - l)}{3z + 1,75b + 2l} \quad \text{для образцов типа 3;}$$

$$\delta_C = \frac{K_C^{*2}(1 - \mu^2)}{2\sigma_T E} + \nu_{PC} \cdot \frac{0,4(b - l)}{0,4b + 0,6l + z} \quad \text{для образцов типа 4;}$$

$z$  — расстояние между торцевой поверхностью образца и кромками накладных опорных призм  
(практически равно толщине накладных опорных призм).

Значения  $K_C^*$ ,  $\delta_C$  и  $\nu_{PC}$  заносят в протокол испытания.

# Модели нелинейной механики разрушения

## 3. Инвариантный интеграл

Интеграл по контуру  $\Gamma_1$  называют  $J$  – интегралом.

В общем случае пластического деформирования вблизи вершины  $J_1 = |J_2|$ , если оба контура  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  проходят в упругой области деформирования.

Следовательно, по изменению  $J$  – интеграла можно определить энергию, расходуемую на пластическую деформацию и разрушение при распространении трещины.

Критерий разрушения формулируется следующим образом:

трещина распространяется, если  $J$  достигнет критического значения, т.е.  $J = J_c$ .

Использование критерия  $J = J_c$  возможно только при наличии экспериментально определённых значениях  $J_c$  или  $J_{Ic}$ , т.к. они зависят от условий нагружения и образца.

1. В случае хрупкого разрушения ( $\sigma_c \leq 0,8\sigma_T$ )  $J_{Ic} = G_{Ic}$ ; для ПДС  $(1 - \mu^2)K_{Ic} = E J_{Ic}$ , что эквивалентно критерию Ирвина.

2. Для тонкой пластической зоны  $\delta_c$  – модели предельное значение  $J_c = \sigma_0 \delta_c$ .

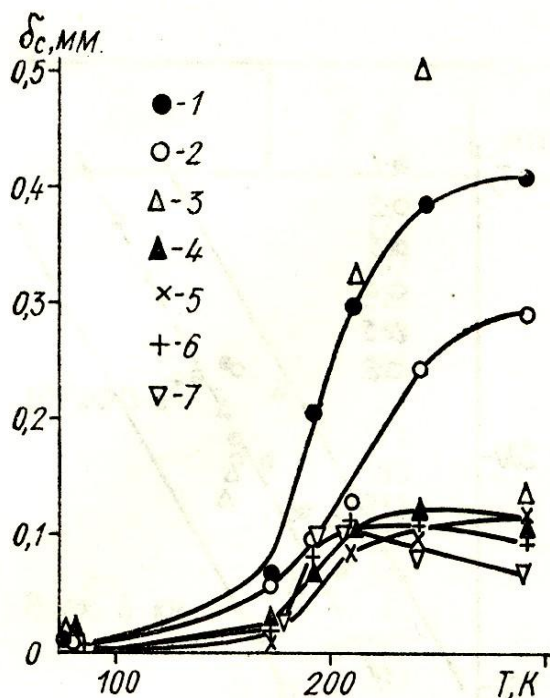
3. При пластической деформации по объёму образца  $J$  – интеграл не характеризует поток энергии в вершине трещины.

Однако критерий разрушения в виде  $J = J_c$  сохранили.

4. Расчётное значение  $J$  определяют по формуле Дж. Райса:  $J = - \delta U / \delta l$ ,

где  $\delta U$  – вариация потенциальной энергии системы сил  
(поверхностных и упругого деформирования)  
при увеличении трещины на  $\delta l$ .

# Температурная зависимость критических параметров разрушения трубных сталей перлитного класса



Температурные зависимости критического раскрытия трещины  $\delta_c$  для исследуемых сталей:

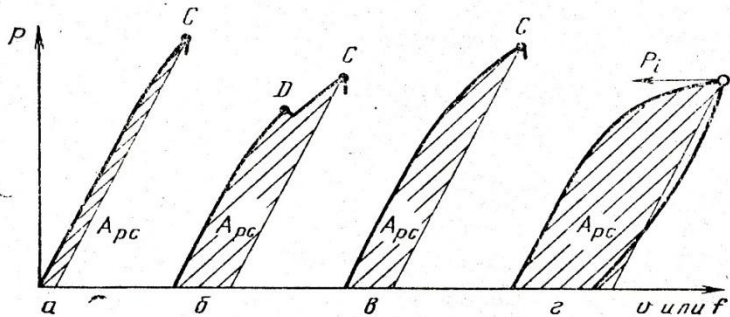
1 — X70; 2 — 10Г2ФБ; 3 — 10Г2ФБ-У;  
4 — 17Г1С-У; 5 — 17ГС; 6 — 06Г2НАБ;  
7 — 10ХНМАЮ

# Вычисление критических значений $J_C$ – интеграла

На диаграмме « $P-v$ » (или « $P-f$ ») выделяют «пластическую часть», заключённую между линией диаграммы от т.  $O$  до т.  $C$  и прямой, проведённой параллельно линейному участку диаграммы до пересечения с осью  $v$  (или  $f$ ).

Вычисляют работу  $A_{PC}$ , соответствующую «пластической» части диаграммы.

Схема выделения пластической части по диаграммам « $P-v$ » или « $P-f$ »



а—диаграмма I типа; б—диаграмма II типа; в—диаграмма III типа; г—при разгрузке образца; о — точка разгрузки образца

Значения  $J_C$  – интеграла вычисляют по формуле

$$J_C = \frac{K_C^{*2} (1 - \mu^2)}{E} + \frac{A_{PC}}{(b-l)t} \cdot \frac{\chi}{k},$$

где  $l$  – исходное значение длины трещины;

$$\chi = 2 + 0,522 (b-l)/b;$$

$$k = 1 + r_V / [l + 0,1(b-l)]; r_V = 0,25 b + z$$

– для образцов типа 3;

$$\chi = 2; k = 1 \text{ – для образцов типа 4.}$$

1. Если подрост трещины для разрушенного образца  $\Delta l \leq 0,3$  мм при  $t \leq 30$  мм или  $\Delta l \leq 0,01t$  при  $t > 30$  мм, то определяют по диаграмме значение  $A_{PC}$  и вычисляют  $J_C$

2. При испытании серии образцов при различных  $v_i \leq 0,9 v_{PC}$  определяют

–  $\Delta l_i$  для каждого образца при данном значении  $v_i$ ;

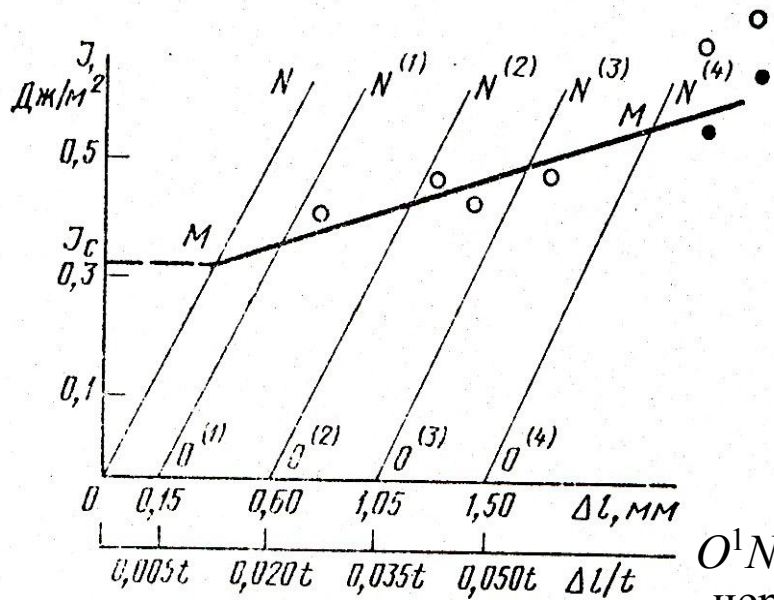
– значение работы  $A_{P_i}$  (рис. г) для каждого образца при данном значении  $v_i$ ;

– значение  $J_i$  для каждого образца при данном значении  $\Delta l_i$ ;

(при расчёте по формуле для  $J_C$  заменяют  $J_C$  на  $J_i$ ,  $A_{PC}$  на  $A_{P_i}$  и  $P_C$  на  $P_i$ ).



# Вычисление критических значений $J_C$ – интеграла



● – скорректированные значения  $J_i$

В координатах « $J - \Delta l$ » (или « $J - \Delta l/t$ »)

1) строят прямую  $ON$ , вычисленную по формуле

$$J = (\sigma_T + \sigma_B) \Delta l \text{ при } t \leq 30 \text{ мм,}$$

$$J = (\sigma_T + \sigma_B) \Delta l / t \text{ при } t > 30 \text{ мм;}$$

2) проводят через стандартные точки  $\Delta l$  (или  $\Delta l/t$ ) остальные прямые  $O^i N^i$  (см. рис.);

3) наносят на схему парные точки  $J_i - \Delta l_i$ .

## Ограничения

1. Если не менее 4-х точек оказались в интервале  $O^1 N^1 - O^4 N^4$  и в каждом интервале не менее одной точки, через эти точки проводят прямую  $MM$  и определяют  $J_C$ .

2. Если не более 2-х точек находятся правее линии  $O^4 N^4$  и не менее точек в разных интервалах левее линии  $O^4 N^4$ , то для точек правее линии  $O^4 N^4$  вводят коррекцию

$$J_i = \frac{K_i^{*2} (1 - \mu^2)}{E} + \frac{A_{Pi}}{S(b-l) + \chi \Delta F} \cdot \frac{\chi}{k}, \text{ где } K_i^* \text{ условный КИН при } P_i \text{ и } l_i;$$

$S$  и  $\Delta F$  – соответственно, длина контура и площадь статически подресшей трещины:

$$S = 4 [(\Delta l_3 - \Delta l)^2 + (t/4)^2]^{1/2} \text{ и } \Delta F = \Delta l t,$$

$\Delta l_3$  – подрост усталостной трещины в срединном сечении образца,  $\Delta l$  – средний прирост.

3. Принимают  $J_C = J_{1C}$ , если  $t_{PJ} / t \geq 1$ , где  $t_{PJ} = \beta_J J_C / (\sigma_T + \sigma_B)$ ;

$\beta_J = 200$  при  $\sigma_T / \sigma_B < 0,6$  и  $\beta_J = -375(\sigma_T / \sigma_B) + 425$  при  $\sigma_T / \sigma_B \geq 0,6$ .

Допускается расчёт

$$J_{1C} = K_{1C}^2 (1 - \mu^2) / E$$

# Параметры температурных зависимостей ХТС

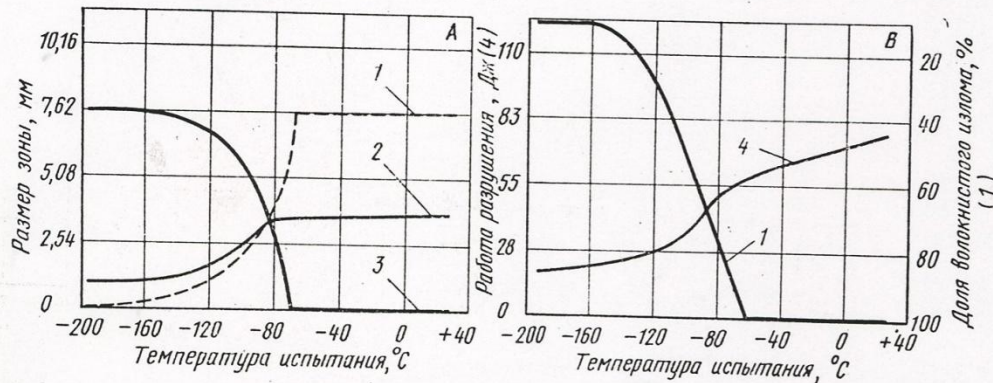
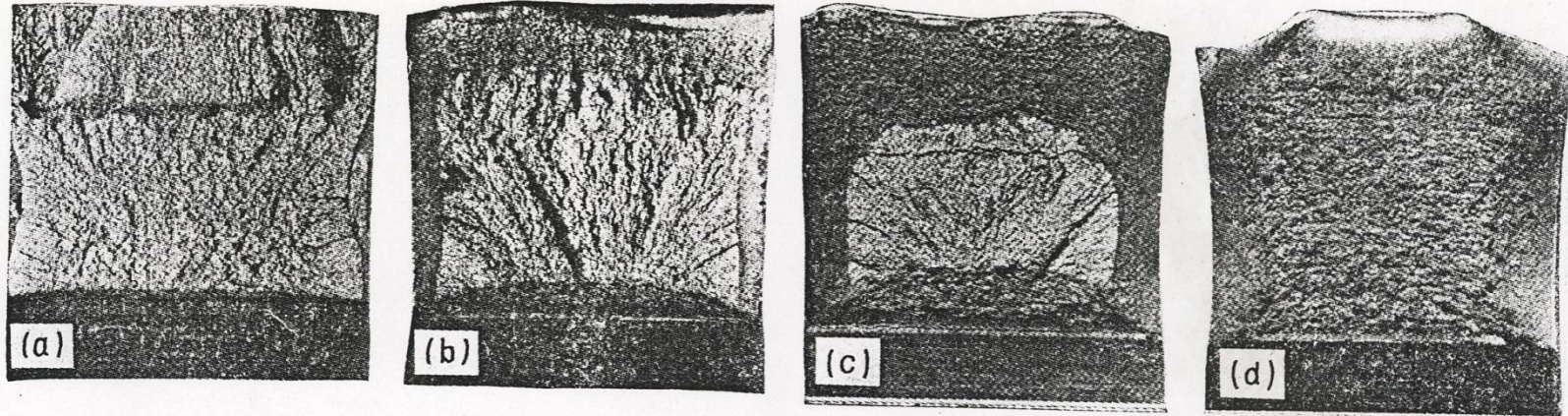
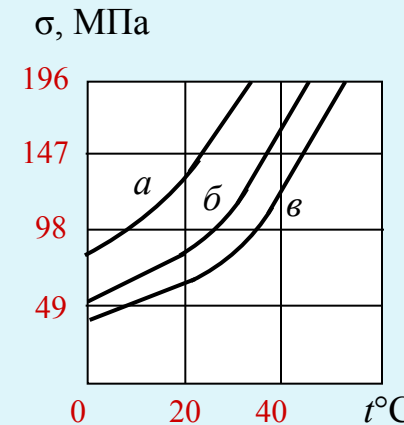
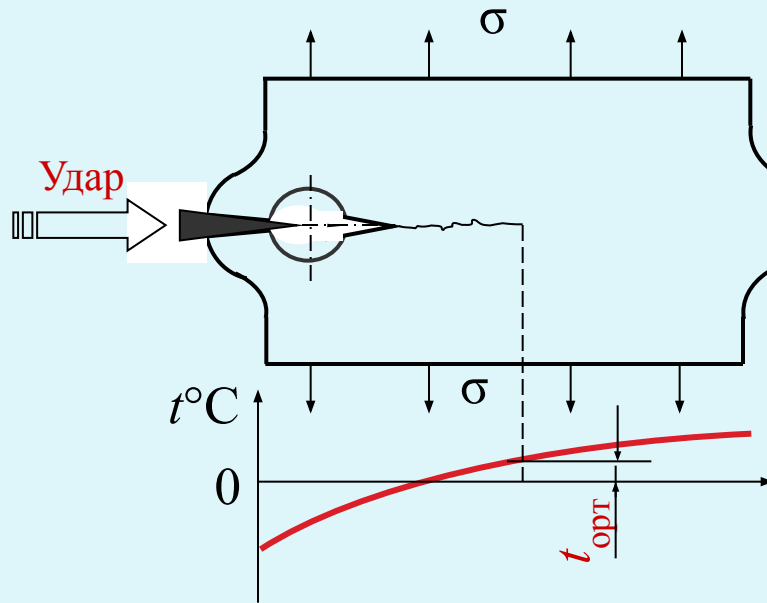


Рис. 41. Влияние температуры испытания на вид излома и ударную вязкость стали 4340 [4]. На фрактограммах (увеличение  $\times 4,4$ ), расположенных сверху, показаны изломы ударных образцов Шарпи сечением  $10 \times 10$  мм, вырезанных из прутков сечением  $14 \times 14$  мм и обработанных по режиму: закалка в масле с  $871^\circ\text{C}$ , отпуск при  $554^\circ\text{C}$ , 1,5 ч, охлаждение в масле и отпуск при  $299^\circ\text{C}$ , 3 ч, охлаждение на воздухе. Образцы были испытаны при 40 (d), при  $-80$  (c), при  $-120$  (b) и при  $-196^\circ\text{C}$  (a). Линейные измерения были сделаны параллельно надрезу для зон среза (зон боковых скосов), перпендикулярно надрезу для волокнистой зоны (от очага разрушения в надрезу до начала радиальных рубцов) и перпендикулярно надрезу для зоны радиальных рубцов (от конца волокнистой зоны до зоны среза); в результате проведенных измерений получены три кривые на графике А. Кривая зависимости доли волокнистой составляющей в изломе от температуры на графике В была построена по визуальной оценке. Сравнение этой кривой с кривой зависимости ударной вязкости от температуры на графике В показывает, что температура вязко-хрупкого перехода, определенная по виду излома, совпадает с аналогичной температурой, определенной по ударной вязкости: 1 — волокнистая зона; 2 — зона боковых скосов; 3 — зона с радиальными рубцами; 4 — работа разрушения

# Параметры температурных зависимостей ХТС

## Испытание с остановкой трещины отрыва по Робертсону



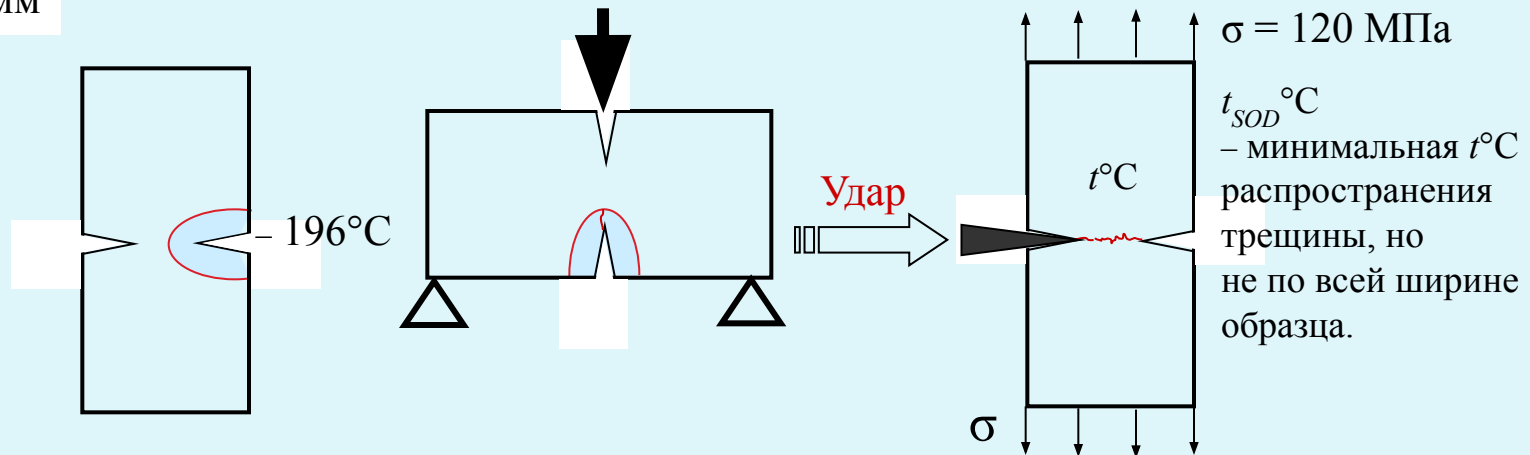
Зависимость « $t_{орт} - \sigma$ »  
для толстолистовой стали ( $\sigma_T = 216$  МПа)

- a* – толщиной 50 мм;
- б* – толщиной 100 мм;
- в* – толщиной 200 мм.

## Испытание с остановкой трещины отрыва по ESSO

$B = 406 \dots 1829$  мм

$L = 915 \dots 1829$  мм



# Общенаучные методы

## исследования

Подходы к объекту, используемые в

исследованиях

## Мыслительно-логические методы исследования

**Аналоговый** используется чаще всего на начальном этапе исследования при отсутствии

или крайне малой информации об объекте В качестве аналога

принимается

**Редукционистский** (*аддитивный*) используется, если есть достаточные основания объект, близкий по характеристикам

полагать, исследуемому

**Комплексный** ориентирован на то, что сводится к сумме свойств составляющих его элементов.

**Системный** предполагает исследование объекта как в совокупности всех его составляющих.

### Принципы системного подхода

1. **Целостность** (*холизм*) объекта.

2. **Иерархическое**, функционально-структурное строение объекта:

- определение функциональное назначение каждой составляющей объекта;
- обусловленность процесса функционирования объекта не столько

свойствами

его отдельных частей, сколько свойствами самой структуры объекта, т.е

взаимодействием частей строения;

3. **Совместимость** частей объекта, как способность части соответствовать своему

**Ситуационный** предполагает рассмотрение функционирование объекта в положении и функциональному статусу в составе объекта зависимости от

**Диалектической** ориентирует на исследование влияние разнонаправленных изменений среды (условий функционирования) с учётом внутренних противоречий самого объекта

**Принципы диалектического**  
**подхода:**

1. Движение и развитие.
2. Объективность.
3. Учет противоречивости; предписывает вскрывать противоречия как движущую силу всяких изменений
4. Проверимость практикой.
5. Относительность: предписывает выяснять границы, в пределах которых действительны свойства объекта
6. Взаимодействие частей объекта

**Исторический** акцентирует внимание на тенденции развития, преобразование объекта

**Логический** (структурный) в противовес и дополнение к историческому акцентирует внимание исследователя не на строго фактологической стороне развития

объекта исследования, а на логичности этого

**Механистический** ориентирует на исключительно причинно-следственные связи в развитии

**Прагматический** направляет исследование не столько на поиск теоретических оснований генезиса, сколько на случайности некоторых факторов его

объяснений изучаемого явления, сколько извлечением из результатов исследования

**Нормативный** (прескриптивный) ориентирует исследователя на сравнение действительности с предписанным нормативными документами порядком пользования вещью. наибольших выгод для пользователя.

# Мыслительно-логические методы

## исследования

**Абстрагирование** — выделение существенных, по мнению исследователя, определяющих свойства, связи и отношения объекта исследования.

**1. Суждения** — утверждения о связях и отношениях между образами, возникающими

при воспоминании или конструировании исследуемых объектов.

**2. Понятие** — мыслительный объект, отражающий существенные и необходимые (неотъемлемые) признаки предмета (явления); результат обобщения суждений.

**3. Гипотеза** — подлежащая обоснованию система понятий и суждений о существенных связях и отношениях, определяющих существование и развитие исследуемого объекта.

**Результат — теоретическая модель;** нет оснований считать, что дальнейшее развитие этой модели соответствует некоторой области действительности,

реальным объектам.

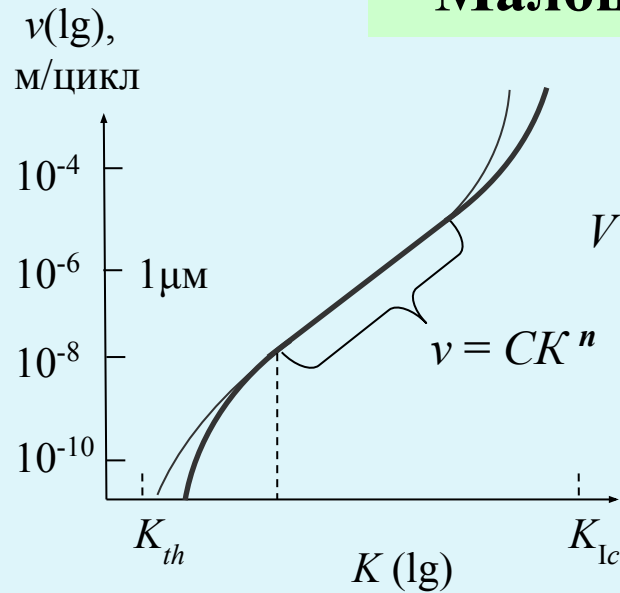
**Формализация** — отображение объекта или явления в знаковой форме какого-то искусственного языка (математики, химии и др.) с целью исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков.

**Классификация** — разделение некоторого множества объектов на группы (классы) в соответствии с общностью и различием (общим и специфическим) свойств, связей и отношений.

**Обобщение (индуцирование)** — обоснование на новом уровне знания более широкого по объему нового понятия, отражающего общность свойств нескольких групп объектов.

Обобщение возможно, если выявлено **свойство**, позволяющее сгруппировать

# Малоцикловая усталость металлов

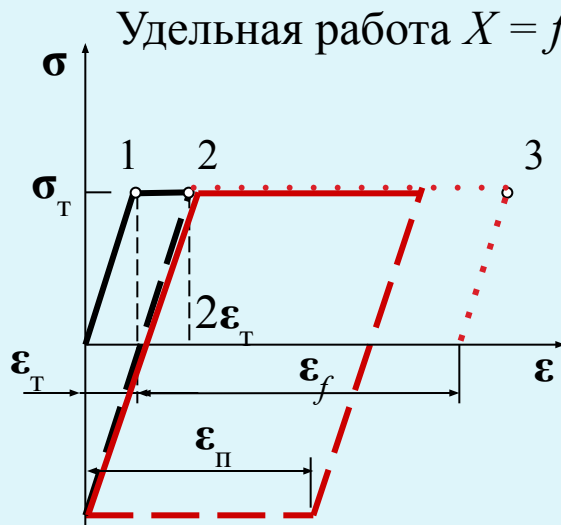


Скорость роста трещины (прирост на цикл) на несколько порядков меньше размеров зерна металла.

$V = CK^n$  – уравнение Пэриса – Эрдогана, где  $n$  – показатель степени,  $2 \leq n \leq 8$ .

Уравнение  $v = CK^n$  не удовлетворяет правилу размерностей.

Уравнение  $v = CK^n \Rightarrow v = \frac{K^2}{EX}$ , где  $X$  – характеристика материала,  $[X] = \text{H}/\text{м}^2 = \text{Дж}/\text{м}^3$ . При  $n = 2$  величина  $X = idem$ , не зависит от  $K$ .



Удельная работа  $X = f(\sigma, \epsilon)$ .

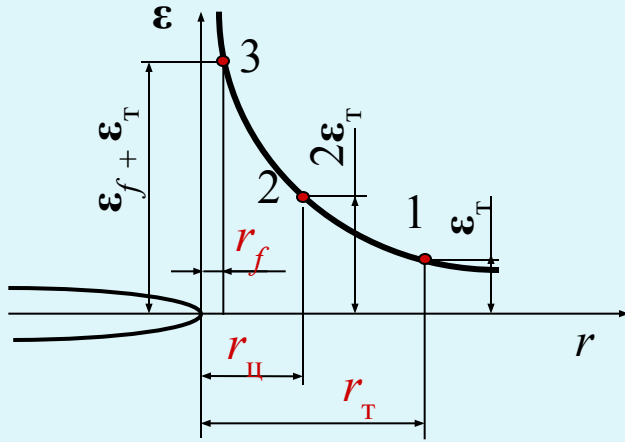
$\epsilon_f$  – пластическая деформация микрообъёма в вершине трещины в последнем для него цикле нагружения;  
 $X_f$  – работа разрушения микрообъёма в вершине трещины в последнем для него цикле нагружения;

Упрощённо можно принять  $X_f = \sigma_T \epsilon_f$ .

Инвариантом разрушения может быть  $X_f$  или  $\epsilon_f$ .

Предпочтительнее  $\epsilon_f = idem$ , т.к.  $\epsilon_f$  – безразмерная величина.

# Малоцикловая усталость металлов



$r_f$  – расстояние от вершины трещины до микрообъёма, в котором образовалась субмикротрещины;

$r_f$  равен шагу трещины малоциклового разрушения на линейном участке диаграммы МЦР.

$$r_T = (K/\sigma_T)^2 / (2\pi) \text{ или } r_T = (K/\sigma_T)^2 / (6\pi);$$

$r_T$  – радиус зоны пластической деформации в вершине;

$\epsilon$  – деформация материала вблизи вершины трещины.

Примем, что  $\epsilon = \epsilon_T (r_T/r)^{1/q}$ , где  $q$  – любое число, одинаковое для подобных процессов; тогда деформация  $\epsilon_{Ц} = 2\epsilon_T = \epsilon_T (r_T/r_{Ц})^{1/q} \Rightarrow r_{Ц} = r_T/2^q$ .

Для упругого материала  $q = 2$  и  $r_{Ц} = 0,25r_T$ ; для идеально пластичного  $q = 1$  и  $r_{Ц} = 0,5r_T$ .

$$\text{Значение } r_f = r_T (\epsilon_T/\epsilon_f)^q = [(K/\sigma_T)^2 / (6\pi)] \cdot (\epsilon_T/\epsilon_f)^q.$$

Тогда для подобия процессов необходимо при  $\epsilon_f = \text{idem}$  выполнять условие испытания

$$K/\sigma_T = \text{idem}.$$

Это условие выполнимо только при испытании **геометрически подобных образцов** и равном для разных материалов отношении  $\sigma/\sigma_T$ .



**Доказательство** — установление некоторого суждения, посредством его вывода из других суждений, истинность которых полагается ранее установленной и независимой от данного доказательства.

Доказательство посредством подтверждения фактами и практической деятельностью (12)

**Дедукция** (дедуктивное умозаключение) — выведением свойств составных частей исследуемого объекта из общих закономерностей, свойственных целому

**Индукция** (индуктивное умозаключение) — выведением свойств исследуемого объекта

**Анализ** — мысленное расчленение исследуемого объекта на составные части для изучения каждой из них и выявления значения каждой части в существовании и функционировании всего объекта.

Основа анализа — абстракция.

**Синтез** — представлению исследуемого объекта как целого, хоть и состоящего из условно выделенных составных частей.

Основа синтеза — системное сведение частей к целому.

**Интеллектуальное (абстрактное) моделирование** — метод познания, опирающийся на символные модели и абстрагирование.

**Мыслительный эксперимент** — исследование поведения объекта на основе его модели и принятие решения о соответствии полученных таким образом следствий известным данным о поведении реальных объектов.

**Вычислительный эксперимента** — один из способов реализации мыслительного эксперимента.

## В процессе доказательства **три фазы:**

**Тезис** — суждение, истинность которого устанавливается в процессе доказательства

(т. е. априорный результат

доказательства).

**Аргументы** — суждения, из которых выводится тезис.

**Демонстрация** — логическая форма связи двух названных фаз,

### Виды доказательства:

**от определения** — обуславливающая необходимость выведения одного из другого, тезиса из аргументов (как их следствия).

практическому опыту;

— **от обратного** — доказательством истинности (корректности) первоначального суждения является абсурдность противоположного суждения

— **на основе анализа соответствия свойств и структуры** исследуемого объекта ;

— **на основе классификации факторов**, позволяющей выявить свойства объекта исследования и причины его специфического

поведения;

— **аксиоматическое** — на основе несколько бесспорных, понятных и разделяемых всеми

положений (аксиом), исходя из которых строится

доказательство;

— **фактологическое** — на основе систематизации фактов;

— **концептуальное** — по выдвинутой рабочей гипотезе;

— **экспериментальное** — по результатам экспериментирования;

— **по концентрации фактов** — по накоплению убедительных фактических характеристик тезиса; модальности (вероятное выдается за действительное /

## Терминальные

### ценности

	2004	2017
<b>Здоровье</b>	10	5,94
Любовь	7,4	7,18
Бизнес	2,5	3,59
Матер. Обесп.	6,5	7
<b>Друзья</b>	7,8	5,88
Общ. признание	4,1	3,59
Семья	6,6	6,35
Самостоятел.	5,6	5,76
<b>Собственнос</b>	1,9	5,59
<b>ть</b>	5	4,71
Доп. Образов.	4,4	5,18
Интер. Работа	4,7	5,24



## Недостающие

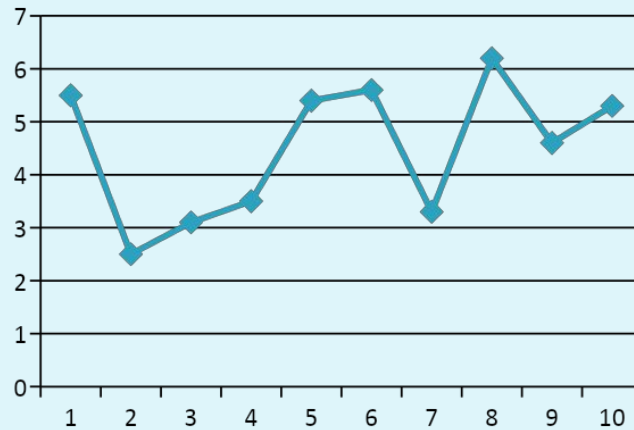
### качества

	2004	2017
<b>самодисциплина</b>	11,4	13,41
<b>добросовестн</b>	10,4	12,47
<b>воспитанность</b>	8,5	11,06
целеустремлённость	14,2	11,41
<b>убеждён в</b>	10,2	6,18
<b>полезности.</b>	8,6	8,88
общительность	7,8	9,65
<b>прогноз последствий</b>	12,5	8,88
<b>воля</b>	10,4	10,83
эффективность	10,2	9,82
работоспособность	7,8	12,12
<b>решительность</b>	11	12,29
<b>самостоятельность.</b>	8,7	10,41
логическое мышление	10,5	5,53
<b>ответственность</b>	6,8	10,59
<b>твёрд. мнения</b>	6	7,88
быстр.	6,6	7,29
переориентация.	8	7,94
системное мышление	9,3	7,24
честность	11	7,44
чувство достоин		
выдержка		

## Инструментальные

### ценности

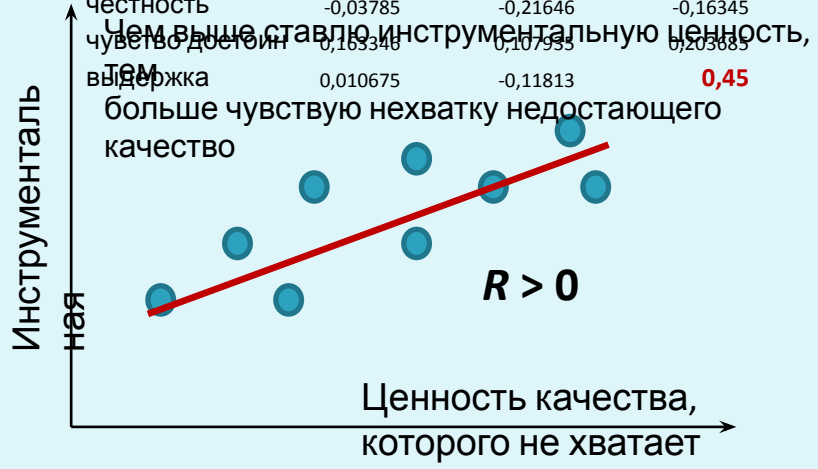
	2004	2017
<b>Эффект. в</b>	5,5	4,12
<b>делах</b>	2,5	4,71
Понять других	3,1	4,18
Исполнит.	3,5	5,18
Воспитанность	5,4	4,47
Твёрд.воля	5,6	4,24
<b>Ответственн.</b>	3,3	5,18
<b>Рац. Решения</b>	6,2	3,88
<b>Профессиона</b>	4,6	4
<b>л</b>	5,3	4,65
Честность		
Действ. самост.		



# Качества, недостающие в настоящее время

# Инструментальные ценности

Качества	коэфф. корреляции	эффективнос	понять других	воспитанн	воля	ответствен.	рац.решения	профессиона	Честн.
самодисци									
п добросове	-0,1303	-0,21718	0,016471	-0,22348	0,333489	0,436265	0,23684	-0,34184	-0,25497
с воспитанн	-0,0319	0,225735	-0,2556	0,179935	-0,278	0,049555	0,161032	0,144003	0,050719
целестр	0,0769	0,103881	-0,23209	0,62	-0,14515	-0,43	-0,09684	-0,30949	0,63
Убеж.в	0,099229	0,274409	0,337362	-0,39826	-0,35751	0,138381	0,199596	0,06129	-0,21349
пол.	-0,28396	0,017555	0,043315	0,04621	0,374606	-0,11485	0,55	-0,45183	0,162288
общител	0,14757	0,44	0,311957	0,005046	-0,40509	-0,04006	-0,0947	0,291181	-0,28875
прогноз послед	-0,11751	0,28943	-0,13913	-0,05419	-0,44	0,27358	0,023087	-0,14986	-0,14619
воля	0,108041	-0,11191	0,095192	-0,16105	0,381931	0,26846	-0,34348	-0,03255	-0,21442
эффектив	-0,07082	0,196312	-0,25396	-0,25396	-0,22419	-0,45	0,044499	0,132051	0,183946
работосп	0,090871	-0,07368	-0,42038	0,127584	-0,25212	-0,03564	-0,1566	0,54	0,45
решительн	0,48	-0,51	-0,28044	-0,35817	0,22819	0,188245	-0,22364	0,48	-0,20614
самостоят	-0,37799	-0,43344	-0,29748	-0,14786	0,58	0,084738	0,214624	-0,06707	-0,05313
лог.									
мышлен	0,004722	-0,15925	-0,50	-0,38738	0,120767	0,165558	0,397056	0,110511	-0,09882
ответств	0,27732	-0,20809	0,398252	-0,38568	0,180734	0,398834	-0,45	0,286402	-0,30633
твёрд.									
мнен	-0,16528	0,192462	0,253133	0,317657	0,22678	-0,25485	0,093204	-0,57	-0,03748
быстр.									
переор.	-0,30444	0,148266	0,390405	0,014184	0,032939	-0,11212	0,21315	-0,05424	0,014014
сист.мышл	0,082689	0,119746	0,206141	0,175807	-0,29362	-0,11212	-0,02664	0,043188	0,282617
честность	-0,03785	-0,21646	-0,16345	0,178944	-0,29924	-0,32296	-0,07059	0,091512	0,523457
чувство достоин	0,163348	0,107953	0,203683	0,332512	0,056037	-0,24866	-0,44801	-0,07427	-0,21349
выдержка	0,010675	-0,11813	0,45	0,177578	0,130351	-0,20632	-0,14084	-0,30595	-0,12897



# Понятие науки (А.Н.

1. Наука – это сфера человеческой деятельности ((**часть культуры**)), направленная на **выработку и систематизацию новых знаний** о природе, обществе, мышлении и познании окружающего мира.

((**характеризующихся объективностью, воспроизводимостью, доказательностью, точностью**))

2. Наука – это результат такой деятельности – **система полученных научных знаний**

3. Наука – это одна из **форм общественного сознания, социальный институт**; представляет собой систему взаимосвязей между научными организациями и членами научного сообщества, а также включает системы научной информации, норм и ценностей науки и т.п.

## **Задачи науки:**

1. Сбор, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;
2. Выявление законов движения природы, общества, мышления и познания;
3. Систематизация знаний;
4. Объяснение сущности явлений и процессов;
5. Прогнозирование событий, явлений и процессов;
6. Определение направлений и форм практического использования полученных знаний

**Классификация наук** в Российской Федерации дана перечнем **ВАК**

научных направлений, по которым осуществляется подготовка специалистов

высших научных квалификаций

# Понятие методологии (А.Н.

– совокупность методов, применяемых в какой-либо сфере деятельности (науке, политике и т.д.);

– учение о научном методе познания.

## Уровни методологии:

1. **Всеобщая методология** – универсальная, включающая в себя философские и общенаучные методы познания.

2. **Частная методология** – общая для группы родственных наук, которую образуют философские, общенаучные и частные методы познания.

3. **Методология научных исследований конкретной науки** включает философские, общенаучные, частные и специальные методы. **У каждой науки своя методология.**

**Методика** – это совокупность методов, способов и приемов познания.

## Методы познания:

1. **Всеобщие** (философские), применяемые во всех науках и на всех этапах познания;

2. **Общенаучные**, применяемые в гуманитарных, естественных и технических науках

3. **Частные** – применяемые в родственных науках;

4. **Специальные** – применяемые в конкретной науке, области научного познания.

Под **техникой исследования** понимают совокупность специальных приемов для использования того или иного

метода.

Под **процедурой исследования** понимают определенную последовательность действий, способ организации