

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ

Доцент, кандидат технических наук
ИСПЫТАНИЯ

Зинин Александр

Владимирович

8 916 652 92 09

allzin@yandex.ru

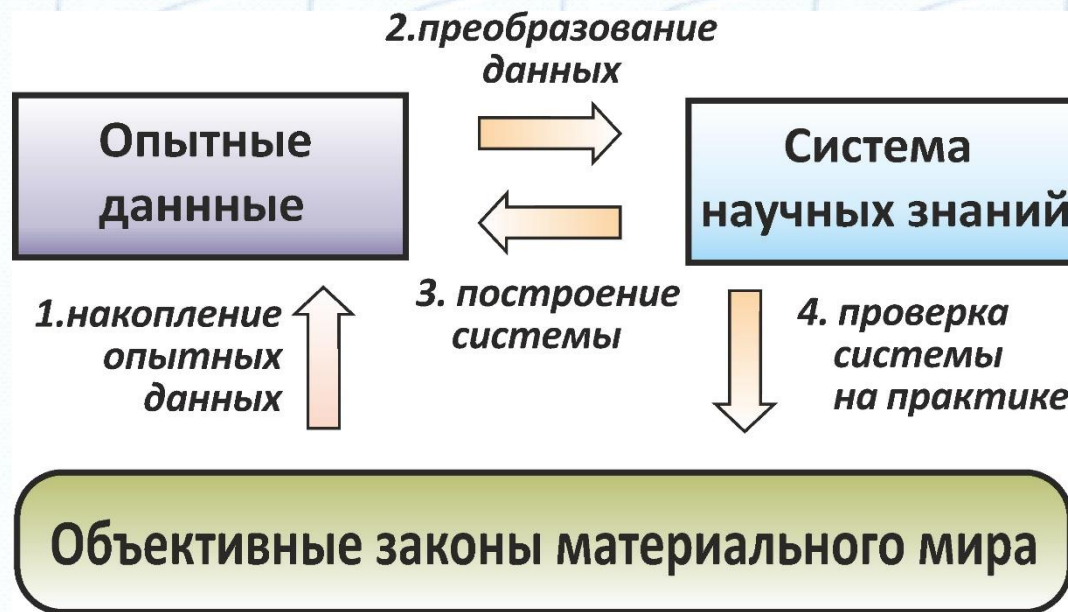
2016





Критерий истины - практика

Карл Маркс



Развитие новых концепций проектирования машин и конструкций изменило соотношение между объемами и трудоемкостью расчетных, конструкторских и экспериментальных работ. Значительно повысилась доля экспериментальных исследований на всех этапах разработки и эксплуатации новой техники.

Содержание экспериментальных работ обогатилось новыми направлениями и методами.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТА КАК НАУЧНОГО МЕТОДА

В отличие от теоретического исследования, изучающего модели реальных объектов, экспериментальные исследования проводят на объектах окружающей среды. Это предметы и явления природы, технические объекты, а в некоторых случаях и модели реальных объектов.

Т.к. состояние объекта характеризуется бесконечным числом параметров, то прежде всего следует разделить все параметры на две группы – существенные и несущественные. Это деление проводят на основании изучения состояния вопроса и предварительных исследований.

Несущественные параметры – малозаметные внешние воздействия, физическая сущность которых либо неизвестна, либо не является целью исследования.

Существенные параметры разделяют на факторы X и показатели Y объекта исследования. Состояние объекта определяется зависимостью:

$$Y = F(X, S)$$

$$Y = F(X)$$

где S – множество параметров, характеризующих структуру или если объект с гомогенной структурой (например, газ). В этой зависимости отражено влияние множества случайных и посторонних факторов. Поэтому цель эксперимента – установление этой зависимости в чистом виде, т.е. оценка того, как менялись бы показатели Y при изменении только факторов X и показателей структуры S .

Действие случайных факторов приводит к рассеянию экспериментальных данных относительно истинного значения. Задача исследователя – установить истинные значения с помощью экспериментальных методов.

Современная методология проектирования конструкций и машин предусматривает несколько стадий процесса создания и эксплуатации техники – **разработка технического задания, эскизного проекта, технического проектирования, изготовления опытных образцов, подготовку серийного производства и эксплуатацию.** И на всех этапах нельзя обойтись без экспериментальных исследований.

На стадиях разработки задания и эскизного проектирования экспериментальные исследования служат обоснованием расчетных условий, нагрузок силовых и кинематических схем, расчетных критериев.

На этапе технического проектирования и создания опытных экземпляров проводят сравнительные испытания различных узлов с целью отбора наилучших вариантов конструктивного решения; завершается работа по оптимизации элементов и конструкции в целом.

Опытные экземпляры машин подвергаются испытаниям на статическую прочность и долговечность; изнашивание и т. п.

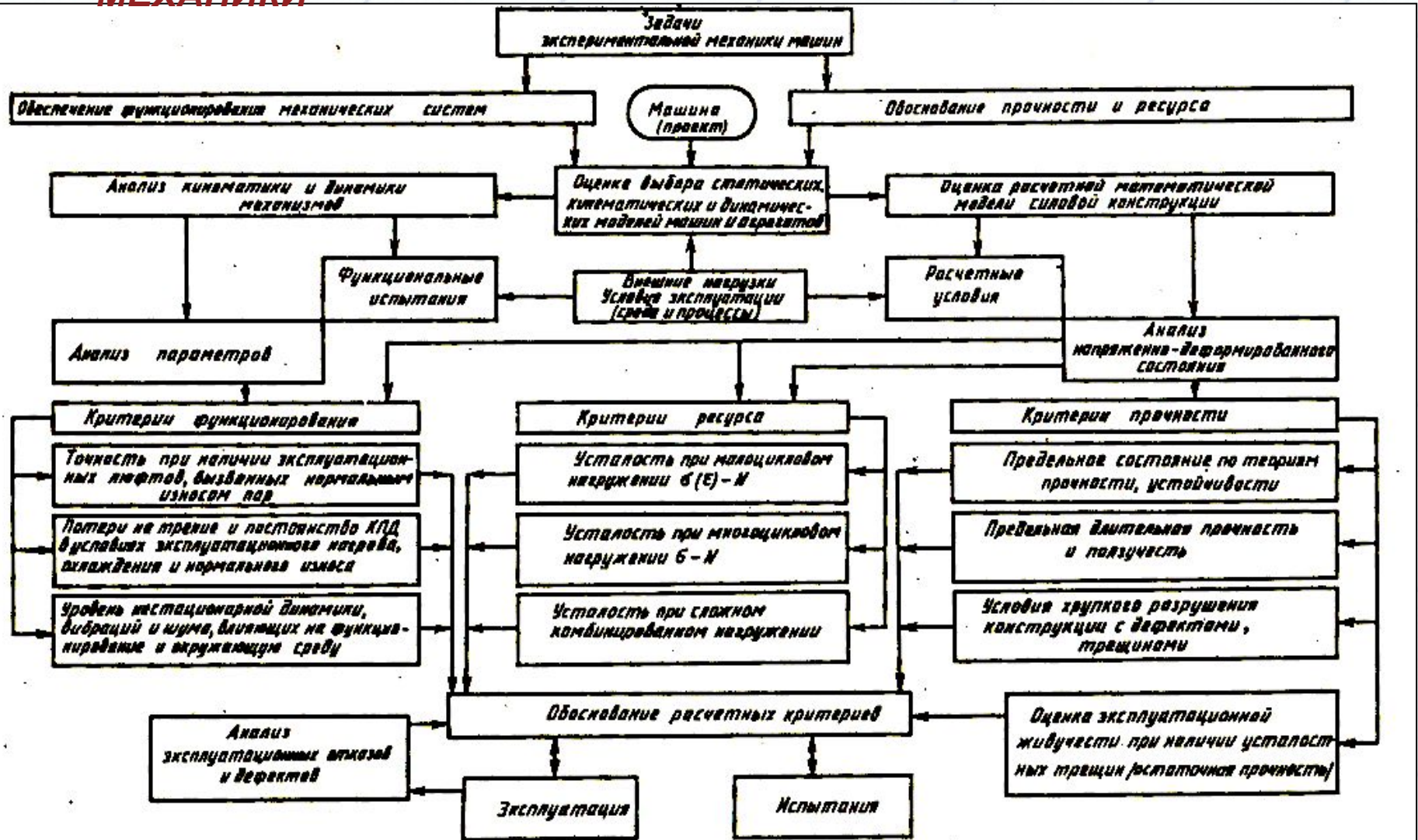
Первые серийные машины, предназначенные для государственных испытаний, отличаются от опытных образцов, поэтому требуется испытание серийных деталей и узлов

Экспериментальная механика – научная дисциплина, содержанием которой является исследование, обоснование и разработка экспериментальных методов и средств определения режимов и параметров работы машин, механических и эксплуатационных свойств деталей и изделий. Основные направления этих работ предусматривают методы и средства определения кинематических и динамических режимов и параметров работы машин и механизмов; напряжений и деформаций в деталях и узлах конструкций на рабочих режимах и прочности конструкций в эксплуатационных условиях.

Экспериментальная механика обобщает ту область знаний в прикладной механике, которая изучает экспериментальные методы и средства, применяемые для исследования объектов силовой конструкции машин и механизмов с целью обоснования прочности и ресурса, а также обеспечения функционирования технических систем.



СХЕМА РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ



ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ЛА

- Оценка правильности основных конструктивных и схемных решений, положенных в основу проекта ЛА, корректировка их в процессе отработки
- Проверка и отработка функционирования агрегатов ЛА, отдельных конструктивных узлов и приборов в эксплуатационных условиях и отработка их взаимодействия в общей конструктивной схеме
- Определение летно-технических характеристик ЛА в полном диапазоне условий его применения

ОБЪЕКТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОБЪЕКТЫ	ЭТАП	РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ
Стандартные образцы	Техническое задание Эскизный проект	Механические характеристики упругих, жесткостных, прочностных, усталостных свойств материалов. Коррозия, трещиностойкость
Образцы полуфабрикатов	Эскизное проектирование	Характеристики свойств при изгибе, сдвиге, смятии, потере устойчивости, теплопрочности и др.
Образцы соединений	Эскизное проектирование Техническое проектирование	Характеристики прочности, усталости, ползучести болтовых, заклепочных, сварных, клеевых и др. соединений

ОБЪЕКТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОБЪЕКТЫ	ЭТАП	РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ
Модели деталей и их соединений	Техническое проектирование	Исследования на упруго- или конструктивно подобных моделях силовых потоков, НДС, перемещений, концентраций напряжений, проверка теоретических решений; сравнение различных решений
Модели агрегатов и узлов		
Модели силовой конструкции машин		

ОБЪЕКТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОБЪЕКТЫ	ЭТАП	РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ
<p>Полу и натурные элементы конструкций: панели, стыки, рамы, опоры, валы и др.</p>	<p>Опытное производство</p>	<p>Исследования несущей способности, силовых потоков, НДС, деформаций, выносливости, термпрочности, ударной прочности, трещиностойкости, живучести, коррозии и др. воздействий</p>
<p>Натурные агрегаты и узлы</p>	<p>Серийное производство</p>	
<p>Натурная силовая конструкция</p>		
<p>Натурная машина (опытная или серийная)</p>	<p>Опытное производство, серийное производство, эксплуатация</p>	<p>Исследования спектра нагрузок, реальных напряжений, долговечности, вибраций, старения, коррозии и других параметров эксплуатации</p>

ПАРАМЕТРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИССЛЕДУЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Методология обеспечения эффективной работоспособности основывается на теоретическом и экспериментальном обосновании расчетных условий и расчетных критериев. Расчетные критерии содержат теоретические концепции – теории прочности, суммирования повреждений и т. п. Эмпирическое обеспечение – базовые данные и зависимости, механические характеристики, кривые усталости и т. п.

Расчетные критерии формулируют в размерностях параметров, характеризующих силовые, кинематические, динамические, триботехнические, энергетические, тепловые и др. факторы взаимодействия технической системы со средой.

ПАРАМЕТРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИССЛЕДУЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

- **нагрузки и условия эксплуатации** – включают в себя расчетные нагрузки и расчетные условия эксплуатации – внешние нагрузки, спектры частот, повторяемость; распределение давлений, силы сопротивления, шарнирные моменты на органах управления, (нагрузки) теплосмены, акустическое воздействие, климатические воздействия, условия смазывания, коррозия и др. (условия эксплуатации)
- **перемещения и деформации** – необходимы для оценки НДС, составления матрицы жесткостей при решении динамических задач; для сравнительной оценки технологических процессов изготовления и различных конструктивных решений. Методы и средства измерения деформации являются основой для экспериментального изучения технических систем
- **скорости, ускорения** – динамические параметры, служащие для решения задач динамики конструкции – расчет частот колебаний, вибраций, флаттерные задачи, навигационные задачи
- **триботехнические** – коэффициенты трения, параметры износа, условия смазывания и т. п. – для оценки износостойкости механизмов
- **энергетические** – мощность, КПД, теплоотдача и т. п.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛА

- I. Измерение нагрузок и перемещений** – деформации и перемещения являются линейными аналогами многих механических величин.

Во многих случаях информация о перемещениях может быть достаточно просто преобразована и проградуированна в размерностях сил, моментов, ускорений, напряжений, давлений и пр.

Большинство средств измерения спектров нагрузок, условий эксплуатации, макро- и микроперемещений построено на преобразовании деформации в электрический сигнал, который трансформируют специальной аппаратурой и записывают регистрирующими приборами. Принципы преобразования различны: тензорезисторные, потенциометрические, индуктивно-трансформаторные, емкостные, частотные, индоэлектрические и т. д.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛА

2. Исследование деформаций и перемещений – различают методы исследования полей деформаций и определение деформации в отдельных точках.

К *первой группе* методов оценки полей НДС относят: электротензометрия; оптико-геометрические методы, поляризационно-оптические методы, интерференционно-оптические методы, метод проникающих излучений.

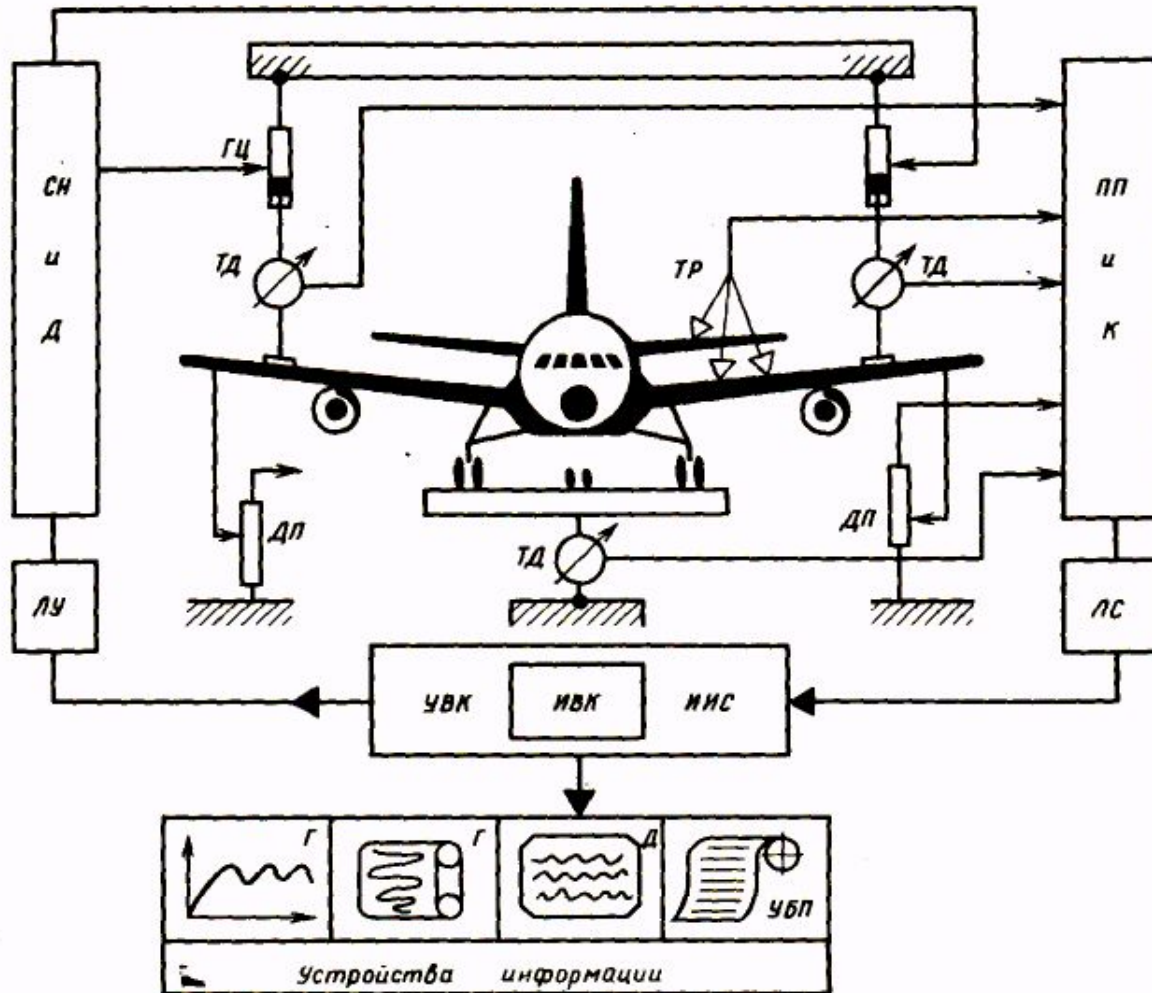
Ко *второй группе* относят измерения деформаций по отдельным точкам преобразователями (тензотрами) различных типов: механическими, оптико-механическими, оптическими, потенциометрическими, струйными, пневматическими, вихретоковыми, оптикоэлектронными и пр.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛА

3. Методы испытаний на прочность и усталость – позволяют получить характеристики механических свойств для образцов материалов и полуфабрикатов; определить несущую способность элементов конструкций по различным параметрам; установить ресурс и показатели надежности технических систем. Часто для испытаний используют испытательные системы, позволяющие автоматизировать весь комплекс работ.

Частным случаем системы испытаний являются испытательные машины и стенды, которые повторяют структурную систему, но являются одноканальными. Используются также системы физического моделирования условий эксплуатации – т. е. комплексы устройств для лучистого и конвективного нагрева - термобарокамеры, криостаты, климатические камеры и т. п.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПА



СИ и Д - система
нагрузки и
движения;

ПЛ и К — первичные
преобразователи и
коммутаторы;

ЛС - линии связи;

ЛУ - линии
управления;

Г —

графопостроители;

Д — дисплей;

УБП - устройство

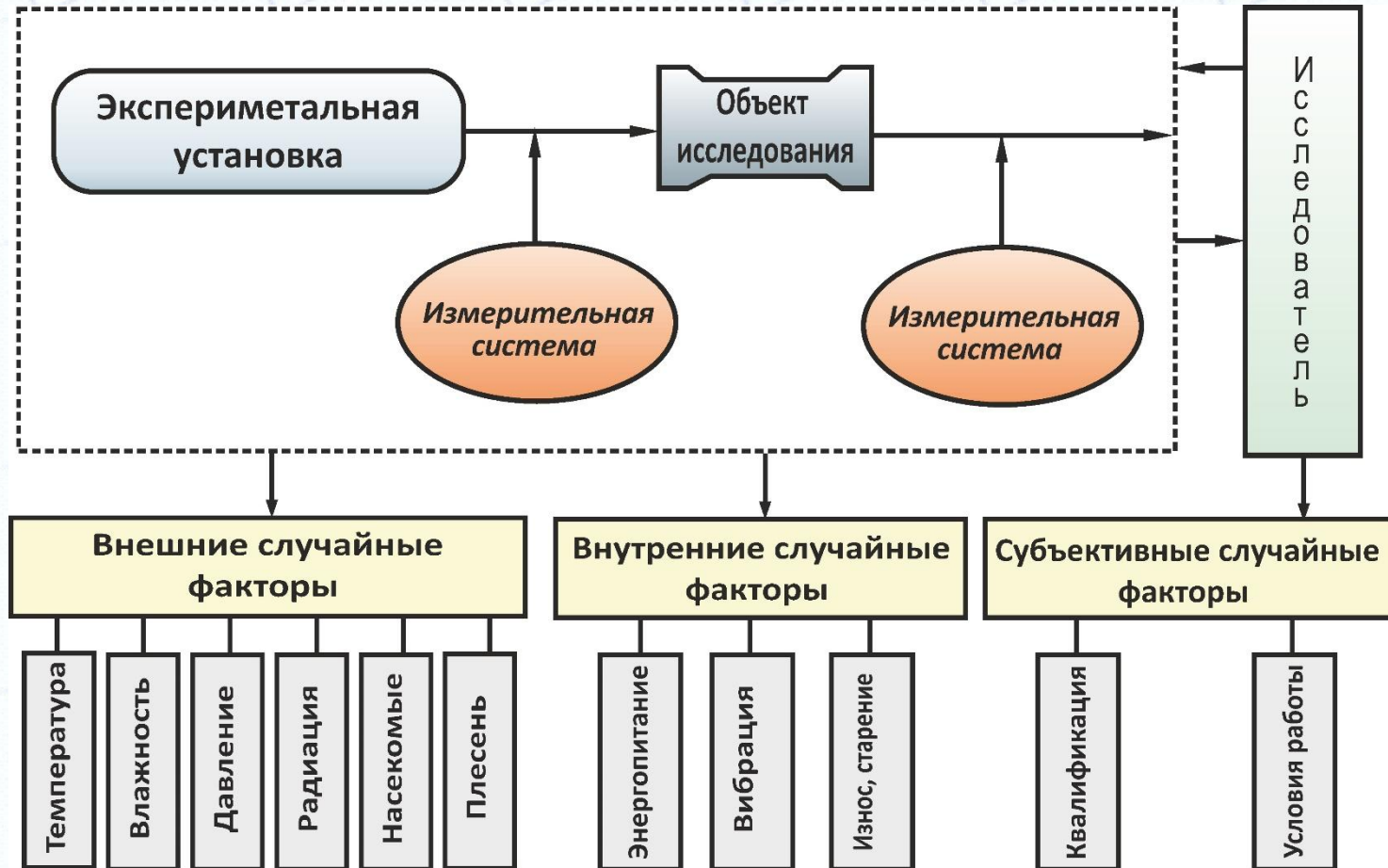
быстрой печати;

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛА

4. Методы механики разрушения и неразрушающие методы контроля – для оценки статической и циклической трещиностойкости; определения скорости развития усталостных трещин. Неразрушающие методы позволяют контролировать процесс разрушения, динамику развития усталостного повреждения и роста трещины.

5. Физическое моделирование задач механики твердого тела – в основе моделирования лежат теории подобия и размерностей; может быть достигнуто *точное, приближенное и полное* подобие с помощью методов упруго подобного приближенного моделирования и конструктивно-подобного *точного* моделирования. Полное подобие может быть осуществлено при полном масштабном и реологическом соответствии между всеми элементами, процессами функциями объекта и модели.

СЛУЧАЙНЫЕ ФАКТОРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ





АЛГОРИТМ ПОДГОТОВКИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ



СТРУКТУРА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В зависимости от количества основных факторов, участвующих в эксперименте различают однофакторный и многофакторный эксперименты.

$y = f(x_1)$ однофакторный

$y = f(x_1; x_2)$ многофакторный эксперимент (2-х факторный)

В случае 2-х факторного эксперимента можно применить классический план эксперимента.

Сначала находят зависимость y от $f(x_1)$, а затем определяют y от $f(x_2)$ при фиксированных значениях x_1 .

Эта последовательность действий – сумма однофакторных экспериментов, где в качестве основного выделен лишь один фактор при неизменности других.

Если же число факторов более двух, то число опытов резко возрастает:

$$N_0 = k^n \quad \text{где } k \text{ - число уровней каждого фактора}$$

В этом случае следует применять факторный план проведения эксперимента. Идея такого плана состоит в том, что необходимо получить из каждого опыта информацию о влиянии всех факторов одновременно на параметр объекта и методами математической статистики так обработать результаты эксперимента, чтобы сумму влияния всех факторов разделить и выделить информацию о влиянии каждого из них отдельно.

ВЫБОР УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Последовательность проведения опытов при наблюдении обусловлена внешними факторами, т.к. эксперименты могут быть и не воспроизводимыми (например: изучение метеорологических факторов; химические превращения; наличие пластических деформаций) в этом случае порядок задаётся однозначно.

Если же эксперимент воспроизводим, то можно применить два варианта последовательности опытов:

- **последовательный план**, согласно которому необходимо избрать верхнее или нижнее значение основного фактора и изменять его через определенные интервалы до получения другого предельного значения;
- **рандомизированный (случайный) план**, при реализации которого значения основного фактора можно чередовать случайно.

Последовательный план проведения эксперимента целесообразно применять при статических испытаниях материалов.

Однако для большинства исследований целесообразен рандомизированный план, позволяющий уменьшить влияние неизвестных систематических факторов на результат. Это уменьшение достигается за счет того, что систематически действующие факторы в результате случайной последовательности изменения значений

Рассмотрим пример такого плана в производственных условиях. При изучении работы нового резца необходимо определить оптимальную скорость обработки, которая обеспечит наибольшую производительность.

Это однофакторный эксперимент, в котором фактор X – скорость обработки; показатель Y – производительность. Но появляется новый фактор, который может быть источником систематической ошибки, – рабочий, испытывающий резец.

Для эксперимента возьмем 4 рабочих, каждый из которых в течение одного дня будет испытывать одну скорость обработки. Обозначим рабочих **A, B, C, D** и скорость обработки – 1, 2, 3, 4.

Составим план в виде матрицы:

Рабочий	Пн.	Вт.	Ср.
Чт.			
A	1	2	3
B	1 2	3	4
C	1 2	3	4
D	1	2	3
			4

Но у такого плана есть недостаток – в понедельник навыков работы с резцом у рабочих нет, а в четверг – наилучшие навыки. В итоге результаты при скоростях 1 и 4 будут занижены или завышены. Рандомизируем план по рабочим дням, задав скорости рабочим произвольно:

Рабочий Чт.	Пн.	Вт.	Ср.	
A	4	2	1	3
B	2	3	1	4
C	3	2	1	4

Исправим план так, чтобы скорость встречалась каждый день один раз:

Рабочий Чт.	Пн.	Вт.	Ср.	
A	1	2	3	4
B	3	4	1	2
C	2	1	4	3

Это **латинский квадрат**, он усредняет влияние 1 внешнего фактора.

Для повышения достоверности результатов исследования необходимо учесть еще один фактор – станки, на которых работают разные рабочие и которые могут иметь индивидуальные систематические погрешности. Обозначим станки **a, b, c, d**

Рабочий Чт.	Пн.	Вт.	Ср.
A	1a	2b	3c
B	3b	4a	1d
C	2d	1c	4b

Это **греко-латинский квадрат**, он усредняет два фактора.

Для многих экспериментов построение квадратов необязательно. Например, скорость обработки можно менять 6 раз, взять 3 рабочих и 3 станка, но 6 дней. Тогда 2 греко-латинских квадрата можно объединить:

Рабочий Сб.	Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Птн.
A	1a	3c	5b	2a	4c
B	3b	5a	1c	4b	6a
C	5c	1b	3a	6c	2b

