Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Д.Н. Цивинский

Приложение метода возмущений к исследованию структуры потоков в аппаратах подготовки и транспорта нефти и газа

учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по нефтегазовому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 130500 “Нефтегазовое дело”

Самара 2012

УДК 622.244 (07)
532.5 (07)
Ц58

Рецензенты: канд. техн. наук С.А.Кривоносов,
канд. техн. наук Б.П.Усачёв

Цивинский Д.Н.

Ц58 **Приложение метода возмущений к исследованию структуры потоков в аппаратах подготовки и транспорта нефти и газа**: учеб. пособ./ *Д.Н. Цивинский*. - 5-е изд., испр. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. - 212 с.: ил.

ISBN 5-7964-0538-1.

Произведено обобщение методов возмущения открытых систем в природе, обществе и мышлении. Описано применение метода возмущений к исследованию структуры потоков в технологических аппаратах систем подготовки и транспорта нефти и газа. Кратко описаны основы теории вероятностей и математической статистики, рассмотрены теория и классификация моментов распределений. Для облегчения понимания в учебное пособие введены около 200 статей о некоторых понятиях и терминах гидродинамики, теории вероятностей, математической статистики и математического моделирования технологических процессов. Описаны некоторые философские категории и понятия, имеющие непосредственное отношение к теории познания. При цитировании словаря В.И. Даля сохранена орфография 19 в., купюры автора. Цитирование словаря В.И. Даля произведено исключительно с методической целью и толкования следует воспринимать не изолированно, а в контексте определений соответствующих понятий и терминов.

Новым для учебной литературы является использование в качестве эпиграфов и цитат парадоксальных определений, высказываний великих людей от античности до наших дней. Парадоксальные определения способствуют критическому отношению к академическим определеням терминов и понятий, позволяют взглянуть на них с неожиданной стороны.

Анализ динамики изменения концентрации трассера на выходе из аппарата позволяет определить статистические моменты распределения частиц потока по времени пребывания в аппарате, характеризующие действительную структуру потоков в аппарате. Рассмотрена последовательность численной обработки функции отклика, включающая в себя преобразование переменных и вычисление всех моментов распределения. Примеры расчётов иллюстрируют все этапы расчётов.

Предназначено для студентов нефтетехнологического факультета очной и заочной форм обучения по направлению "Нефтегазовое дело", специальности 130501 и 130503, могут быть полезны студентам специальностей 130504 и 130401, а также могут быть использованы инженерами, занимающимися экспериментальными исследованиями.

УДК 622.244 (07); 532.5 (07)
Ц58

ISBN 5-7964-0538-1

Условные обозначения и единицы измерения

Условное обозначение	Единица измерения	Величина (физическая величина)
A_x		Коэффициент асимметрии
C		Концентрация параметрическая при импульсном возмущении
c	г/м^3	Концентрация объемная массовая
D_l	м^2/с	Коэффициент продольного перемешивания
D_r	м^2/с	Коэффициент радиального перемешивания
E_x		Эксцесс
F		Концентрация параметрическая при ступенчатом возмущении
$F(x)$		Функция распределения вероятностей случайной величины
G	кг	Количество массовое
g	м/с^2	Ускорение силы тяжести (массовой силы)
h		Частота события
i		Номер наблюдения (эксперимента)
L	м	Определяющий линейный размер, длина
l	м	Координата длины, линейный размер
m_β	м$^\beta$	Начальный момент β-того порядка
n		Размерность массива данных, параметр ячеечной модели
P		Вероятность события
Pe		Критерий Пекле
P_x, P_y, P_z	м/с^2	Проекции ускорения, вызванного массовой силой, на оси x, y и z
$p(x)$		Плотность вероятностей случайной величины
p_i		Вероятность i-того события
Re		Критерий Рейнольдса
R, r	м	Радиус
S	м^2	Площадь поперечного сечения

Условное обозначение	Единицы измерения	Величина (физическая величина)
T	К	Температура абсолютная, К
V	$м^3$	Объём
ν	$м^3/с$	Объёмный расход
w	м/с	Линейная скорость
X		Случайная величина
x		Произвольное действительное число
β		Порядок момента
ζ		Коэффициент местного сопротивления
θ		Время параметрическое
λ		Коэффициент трения
M_x		Математическое ожидание случайной величины X
μ_β		Центральный момент β-того порядка
ϑ	с	Время условное
П	м	Периметр
τ	с	Время
$\bar{\tau}$	с	Время среднее

ВВЕДЕНИЕ

Математическая обработка результатов испытаний *технологических аппаратов методом* возмущений производится одним из методов *математической статистики* - *методом моментов*. Для облегчения *понимания сущности* приложения метода моментов к обработке результатов *экспериментов* в конце учебного пособия приведены *определения* более двухсот иноязычных терминов и слов русского языка, используемых в качестве терминов. При цитировании указания на текстовые источники в ряде случаев сознательно опускались, но в библиографическом списке они даются полностью. Слова и термины, выделенные в тексте курсивом, снабжены отдельными статьями, в которых даются этимологическое происхождение термина, его значение и содержание. В пятом издании произведена незначительная правка нескольких статей; произведена корректура текста, за что автор выражает Алендуковой Н.А. искреннюю признательность.

Структура потоков в технологических *аппаратах* и трубопроводах достаточно часто представляет определённый практический интерес. В *технологии идеальный гидродинамический режим* наблюдается в редких случаях (если его можно *наблюдать*), в большинстве своём это случаи течения *газа* или *жидкости* (в дальнейшем жидкости), когда неидеальностью структуры потоков можно пренебречь. *Научные* исследования, как правило, проводятся в лабораторных установках, изготовленных с таким расчётом, чтобы в основном аппарате (например, химическом реакторе, массо- или теплообменном аппарате) наблюдался идеальный гидродинамический режим, т.е. отсутствовали бы *градиенты* температуры и *концентраций* по объёму для проточных аппаратов смешения:

$$\frac{dT}{dV}=0; \qquad \frac{dc}{dV}=0,$$

а для аппаратов вытеснения по радиусу:

$$\frac{dT}{dR}=0; \qquad \frac{dc}{dR}=0.$$

Степень неидеальности потока жидкости в аппаратах колеблется в широких пределах при переходе от малогабаритных установок к аппаратам промышленного масштаба и не всегда поддаётся расчёту и экстраполяции [4, 21, 23, 35]. Основными *факторами*, вызывающими отклонение протекания жидкости через аппарат от идеального, являются застойные зоны, струйное течение, внутренний байпас, *явление* обратного перемешивания (рис.1).

Застойными зонами принято считать участки аппарата, в которых жидкость задерживается на время, вдвое превышающее *среднее* время пребывания в аппарате. Явление обратного перемешивания возникает при переходных и *турбулентных* режимах течения жидкости в аппарате. Формально оно включает два явления - продольное перемешивание и поперечное перемешивание. Первый характеризуется *коэффициентом* продольной *диффузии* D_l, учитывающим в общем случае молекулярную диффузию, турбулентную диффузию и неравномерность профиля скоростей (так называемую тейлоровскую диффузию), а второй - коэффициентом поперечной (радиальной) диффузии (перемешивания) D_r. *Физической причиной* поперечного перемешивания является разность давлений в слоях жидкости, движущихся с разной скоростью, что и приводит к образованию различной *формы* вихрей, струй и т.п.

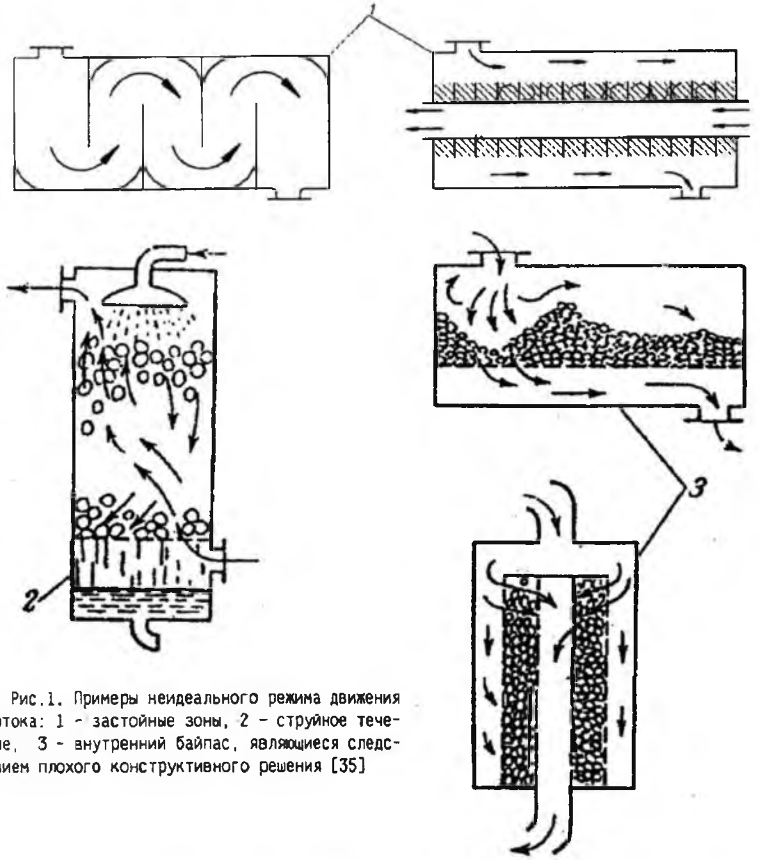

Рис.1. Примеры неидеального режима движения потока: 1 - застойные зоны, 2 - струйное течение, 3 - внутренний байпас, являющиеся следствием плохого конструктивного решения [35]

Под *формализацией структуры потоков* в аппарате подразумевается вычисление *моментов распределения частиц* (*комков*) *потока* по времени пребывания в аппарате. *Статистические* моменты полностью формализуют особенности *распределения комков жидкости* по различным траекториям (линиям тока), с помощью моментов можно также определить некоторые *параметры*, численно характеризующие наличие и долю застойных зон в общем объёме аппарата, степень отклонения режима движения жидкости от режима идеального вытеснения (смешения) и интенсивность продольного перемешивания.

Действительные условия течения жидкости в аппарате можно определить, если проследить путь каждой *частицы потока* в аппарате. Для этого необходимо располагать полной картиной распределения скоростей частиц (*комков*) жидкости в данном аппарате. Технологически этот *метод* неосуществим, кроме этого, сама процедура измерения скоростей частиц потоков вносит возмущения в структуру потоков.

Эти трудности можно обойти, если условия протекания частиц потока заменить временем пребывания их в аппарате. Сведения о распределении времени пребывания частиц потока в аппарате можно получить, если каким-либо способом "пометить" частицы потока, входящие в аппарат в данный момент времени, и фиксировать их в потоке, покидающем аппарат. Естественно, что в *стационарном* режиме время пребывания "отмеченных" частиц практически не будет отличаться от времени пребывания частиц, вошедших в аппарат в любой другой момент времени. Выделив отмеченные частицы на выходе из аппарата, мы тем самым сделаем так называемую ***представительную выборку*** из ***совокупности***.

В качестве "метки" можно использовать любое однородное, физически и химически инертное по отношению к основной *среде* вещество (изотопы, красители, кислоты и другие), концентрацию которого фиксируют на выходе каким-либо способом. Добавляемое вещество носит название индикатора или *трассера*, а метод исследования структуры потоков в технологических аппаратах с помощью трассеров относится, в целом, к обширному классу реакций на возмущение.

Результатом испытания аппарата на произведенное возмущение является *функция отклика*, представляющая собой зависимость концентрации трассера в выходящем потоке от времени (рис.2).

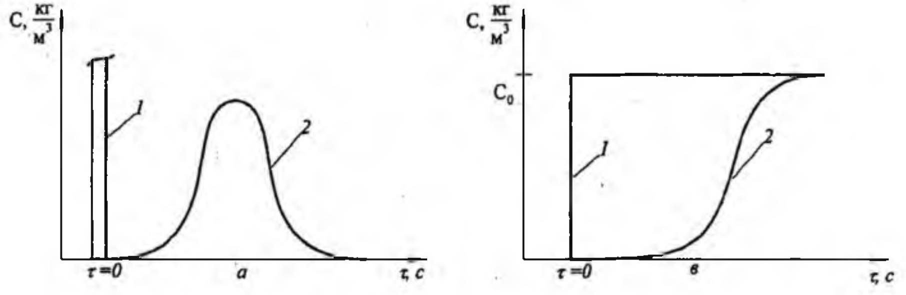

Рис.2. Примерный характер изменения концентрации трассера во времени при испытании реального проточного аппарата:
а - импульсный ввод трассера, б - ступенчатый ввод трассера;
1 - возмущающий сигнал (ввод трассера),
2 - функция отклика (выход трассера с потоком жидкости)

Анализ этой зависимости позволяет определить структуру потоков в аппарате, параметры, характеризующие особенности течения жидкости, и подобрать *математическую модель*, с достаточной точностью описывающую структуру потоков в аппарате. Ценность такого подхода заключается в том, что структура потоков в аппарате фиксируется de facto, т.е. учитывает особенности конкретного аппарата, скорость течения жидкости, вязкость, плотность и другие характеристики жидкости. Изменение характеристик жидкости (например, вследствие изменения температуры по длине нефтепровода, газопровода или по глубине скважины) приведёт к изменению структуры потоков в большей или меньшей степени. Но и этот факт отразится в параметрах, количественно характеризующих распределение *частиц* (*комков*) потока по времени пребывания в трубопроводе, скважине, аппарате.

Подробно см., например, [22, 23, 24, 35].

МЕТОД ВОЗМУЩЕНИЙ

Метод возмущений является естественным приёмом испытания *открытых систем* с целью распознавания неизвестных реакций системы в *природе*, *технологии*, обществе и *мышлении*. В то же время метод возмущений является универсальным методом исследования *динамических* характеристик открытых систем, внутреннее устройство которых неизвестно, либо устройство системы известно, но неизвестно *функционирование* системы. В общем случае открытыми системами являются все живые организмы, популяции (сообщества людей, животных, птиц, рыб, насекомых и так далее), природные и технологические системы с непрерывно протекающими *процессами* переноса количества движения, вещества и энергии.

Сущность метода возмущений заключается в том, что на входе в систему в *момент* времени $\tau=0$ наносится возмущающий сигнал. По *форме* сигналы могут быть *импульсными*, ступенчатыми и гармоническими, а по содержанию - *информационными* или *физическими*. После нанесения возмущения на выходе снимается кривая отклика системы на произведённое возмущение, *анализ* которой и позволяет определить те или иные *параметры* функционирования системы. *Статистический* анализ физического возмущающего сигнала позволяет определить характеристики *распределения* внесённых *элементов* по времени пребывания в системе; *параметры* этого распределения достаточно адекватно характеризуют *динамичность структуры* системы.

Обобщение методов возмущения

Метод возмущений - один из методов *научного* познания *природы*, *технологических*, физиологических и социальных *процессов*. Он является естественным приёмом испытания *открытых систем* с целью распознавания неизвестных реакций системы в природе, обществе и мышлении. Метод возмущений широко применяется в технике, технологии, биологии, медицине, социологии и научных исследованиях. Например, в электротехнике и электронике в качестве возмущающего сигнала обычно используется синусоидальное переменное напряжение. В медицине для проверки *функционирования* некоторых органов используются рентгеноконтрастные растворы солей. В технологических процессах для определения *структуры потоков* (*коэффициента* продольного перемешивания, наличия и объёма застойных зон, байпасных потоков и тому подобное) обычно применяют *импульсные* и ступенчатые сигналы. В качестве сигналов используются *трассеры* различной природы. Испытание заключается в том, что в поток вещества, поступающего в систему, в *момент* времени $\tau=0$ вносится некоторое количество трассера, *концентрация* которого определяется в *пробах* на выходе. При определении структуры потоков в реакторах с кипящим слоем катализатора, в системах гидро- и пневмотранспорта используются твёрдые вещества, близкие по *форме*, по *величине*, по плотности и тому подобных, но имеющие какую-либо характеристику, позволяющую выявлять их на выходе.

Метод возмущений является *нормальным* приёмом социальных *отношений* людей для распознавания намерений друг друга. Человеку не дано знать мысли и намерения окружающих, но ощущение комфорта неразрывно связано с уверенностью в их расположении. Также, если не более, важно понимание субъекта, которому задают неожиданный или провокационный вопрос, и по ответу (или отсутствию оного) судят о действительных намерениях человека. Достаточно часто желания и намерения человека вступают в противоречия с коллективом или отдельными личностями, и, естественно, возникает необходимость распознавания намерений и потенциальных возможностей отдельных личностей, коллективов, социальных групп, народностей и государств. *Информационное* возмущение, произведённое в нужный момент, является импульсным возмущающим сигналом, и реакция собеседника или группы людей на произведённое возмущение помогает возмутителям спокойствия принять то или иное решение. Например, действия руководителя, дипломата, разведчика, следователя и других в нужной ситуации и в нужный момент, наносящих информационное возмущение и анализирующих реакцию. Допрос подозреваемого в правонарушениях является не чем иным, как последовательностью различных возмущений. А пытки во времена не столь отдалённые? Есть категория людей, создающих и поддерживающих конфликтную обстановку в коллективе или в семье для решения тех или иных своих проблем. Не про них ли говорят: "Любят ловить рыбку в мутной воде"? Очевидно, что метод возмущений является незаменимым во всех случаях изменения *структуры* общества, смены лидера и во многих других случаях. Например, пресс-конференция по поводу избрания президента по *существу* является серией возмущающих вопросов (сигналов), ответы на которые подвергаются длительному и тщательному анализу.

Результаты испытаний системы методом возмущений обычно представляют в виде таблиц или $p(x)$- и $F(x)$-кривых, причём содержимое таблиц можно рассматривать как некоторую *выборку случайных величин* из *совокупности*. Характерные особенности случайных величин принято выражать с помощью числовых характеристик, называемых *моментами* случайной величины, которые полностью характеризуют само *распределение*. *Моментами* распределения можно пользоваться для анализа и сопоставления распределений без сравнения соответствующих кривых.

Моменты распределения случайной величины позволяют сравнить *эмпирическое* распределение с теоретическими и в результате установить *закон* изучаемого *явления*. Так, в общем случае, если распределение сигнала на выходе не отличается от нормального закона, то не следует искать большого смысла в функционировании исследуемой системы.

1. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАССЕРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВ В КАНАЛАХ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Прежде чем переходить к *сущности* применения *трассеров*, рассмотрим, что подразумевается под каналами произвольной *формы*. Сначала рассмотрим крайности: *аппарат идеального* смешения и аппарат идеального вытеснения.

В случае аппарата идеального смешения предполагается, что *частица* жидкости, входящая в него, мгновенно распределяется по всему объему. Это возможно при большой скорости вращения мешалки и *относительно* небольшом расходе жидкости в аппарат (рис. 3). В таком аппарате *концентрации* всех веществ одинаковы по всему объёму и равны выходным. То же с температурой - она одинакова по всему объёму. А время пребывания частиц *потока* в аппарате идеального смешения неодинаково. Какие-то частицы сразу же от входа попадут к выходу, какие-то "поперемешиваются" в объёме аппарата и будут покидать его поодиночке, а третьи могут задерживаться в нём весьма надолго. Аналогом *модели* идеального смешения является бытовой миксер, если предположить, что в него с одной стороны непрерывно подаются компоненты для смешения, а с другой выводится готовый продукт.

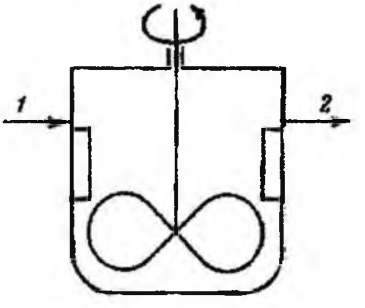

Рис. 3 Проточный аппарат смешения, достаточно часто описываемый моделью идеального смешения
1 - вход потока; 2 - выход

Примером аппарата идеального вытеснения являются *гидравлически* гладкие трубы с *соотношением* длина:диаметр больше ста при *турбулентном* движении жидкости. Предполагается, что все частицы жидкости движутся параллельно оси трубы с одинаковыми скоростями (рис. 4). Следовательно, время пребывания всех частиц в аппарате идеального вытеснения одинаково, $\tau_{abs}=V/v_0$, где τ_{abs} - истинное время пребывания в аппарате. К режиму идеального вытеснения достаточно близок поток жидкости через относительно длинный аппарат, заполненный зернистым материалом (насадочная колонна, реактор с неподвижным слоем катализатора и тому подобное) [23, 27, 35, 49].

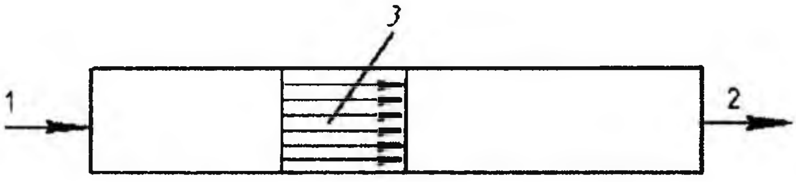

Рис.4. Проточный аппарат вытеснения, достаточно часто описываемый моделью идеального вытеснения:
1 - вход потока; 2 - выход; 3 - эпюра скоростей частиц жидкости

Между этими идеальными моделями движения жидкости находятся все реальные объекты - аппараты с мешалками, смесители, колонные аппараты, отстойники, кожухотрубчатые теплообменники и другие.

Сигналы, являющиеся возмущениями, могут иметь различную форму: случайную, циклическую, ступенчатую и *импульсную*. В *технологических* аппаратах используются в основном ступенчатые и импульсные сигналы [21, 23, 35]. При нанесении ступенчатого сигнала в поток жидкости, поступающей в аппарат и не содержащей трассирующего вещества, вносится некоторое количество его таким образом, что *концентрация* трассера во входящем потоке изменяется скачком от нуля до некоторого значения c_0 и в дальнейшем поддерживается на этом уровне (рис. 5, а, б).

Для того чтобы ввод трассера не повлиял на *структуру* потоков в аппарате, общий расход жидкости при этом не должен измениться. Трассером может являться и другая жидкость, хорошо смешивающаяся с основной жидкостью и незначительно отличающаяся по плотности.

Разновидностью ступенчатого сигнала является способ нанесения возмущения путем мгновенного прекращения подачи трассера на входе в аппарат (рис. 5, д, е).

При нанесении импульсного сигнала в поток жидкости, поступающей в аппарат, теоретически мгновенно вводится некоторое количество трассера, который распределяется в объеме аппарата и постепенно "вымывается" входящим потоком (рис. 5, в, г). Теоретически мощность импульса *бесконечно* велика, так как возмущение должно наноситься за бесконечно малый промежуток времени. Такой вид возмущения носит название *δ-функции*, или функции Дирака. При исследовании технологических объектов импульсным *методом* концентрация трассера вполне конечна и не превышает его плотности, поэтому практически получается более или менее узкий и высокий пик. Результатом испытания объекта

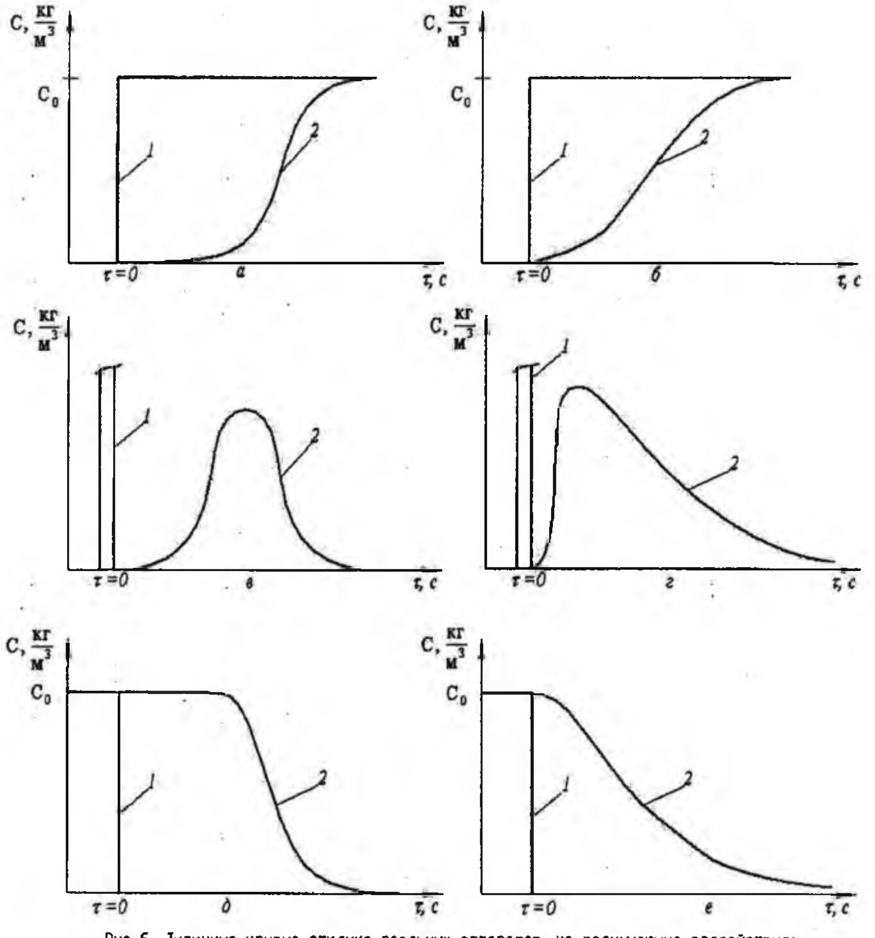

Рис.5. Типичные кривые отклика реальных аппаратов на возмущающие воздействия:
а - ступенчатый ввод трассера в реальный аппарат вытеснения;
б - ступенчатый ввод трассера в реальный аппарат смешения;
в - импульсный ввод трассера в реальный аппарат вытеснения;
г - импульсный ввод трассера в реальный аппарат смешения;
д - ступенчатое прекращение подачи трассера в реальный аппарат вытеснения;
е - ступенчатое прекращение подачи трассера в реальный аппарат смешения

на произведенное возмущение является функция отклика, представляющая собой зависимость концентрации трассера в выходящем потоке от времени (рис. 5, в, г). *Анализ* этих зависимостей позволяет определить *статистические моменты*, характеризующие *распределение* частиц по времени пребывания в объекте, и в результате - *параметры*, характеризующие структуру потоков в технологическом аппарате [22, 23, 24]. Эта *информация* является основанием для выбора нужного режима эксплуатации аппарата, предотвращения местных перегревов, отложения различного рода осадков на стенки аппарата и т.д. В некоторых случаях возможно внесение конструктивных изменений в аппарат или систему, чтобы режим движения жидкости соответствовал требуемым.

Рассмотрим *процесс* вымывания *трассера* из аппарата после нанесения импульсного возмущения. Запишем уравнение материального баланса для трассера в дифференциальном виде:

$$dG = -cv\,d\tau, \tag{1.1}$$

где c - *концентрация* трассера в выходящем потоке, кг/м^3; v - объемная скорость потока, проходящего через аппарат, м^3/с; dG - количество трассера, кг, выносимого потоком из аппарата за промежуток времени $d\tau$, с.

Произведем преобразование *переменных*, входящих в уравнение (1.1), полагая, что:

а) концентрация трассера c зависит от количества введенного трассера G_0, который к движению жидкости в аппарате никакого отношения не имеет. Концентрация трассера c зависит также от расхода жидкости, поэтому процесс лучше характеризовать *величиной*, не зависящей от G_0, определяемого случайными обстоятельствами опыта;

б) время вымывания трассера зависит от расхода жидкости, *соотношения* конструктивных размеров аппарата, наличия перегородок, числа ходов и тому подобное, поэтому процесс лучше характеризовать величиной, не зависящей от конструкции и размеров конкретного аппарата.

Для того чтобы разные аппараты, испытанные с разными трассерами и при различных режимах, можно было при необходимости сравнивать между собой на количественном уровне и для развития *науки* о движении жидкости в *технологических* аппаратах непростой конструкции, необходимо все *физические величины* привести к сопоставимым числам. Одним из приёмов является *приведение* физических величин к *безразмерному* виду. В науке есть несколько приёмов приведения физических величин к безразмерному виду.

Общим случаем преобразования физических величин к безразмерному виду является деление исходной переменной величины на аналогичную постоянную. В зависимости от того, какая физическая величина принимается за постоянную, различают *нормирование* переменных, *кодирование* переменных и *приведение* к *параметрическому* виду. При нормировании переменных за постоянную величину принимается *интервал* $y_{max}-y_{min}$, при кодировании переменных, в задачах планирования *эксперимента* - половина этого интервала, а в последнем случае - исходя из конкретных обстоятельств. В нашем случае рассматривается *распределение частиц* (*комков*) потока, помеченных трассером, по времени пребывания в аппарате или системе аппаратов, поэтому концентрацию трассера c на выходе из аппарата целесообразно делить на начальную на входе c_0; время пребывания частицы потока τ делить на *среднее* время пребывания жидкости в аппарате τ_{cp}, а предпринимаемая нами процедура будет называться приведением к параметрическому виду.

Преобразование переменных заключается в переходе к параметрической концентрации и параметрическому времени:

$$C = \frac{c}{c_0}, \qquad (1.2)$$

где c_0 - начальная концентрация трассера, c - концентрация трассера в *момент* времени τ,

$$\bar{\tau} = \frac{V}{\nu}; \qquad \theta = \frac{\tau}{\bar{\tau}}, \qquad (1.3)$$

где $\bar{\tau}$ - среднее время пребывания жидкости в аппарате.

Преобразуя уравнение (1.1) с использованием соотношений (1.2) и (1.3), получим:

$$dG=-Cc_0\nu\bar{\tau}d\theta; \qquad \frac{dG}{Vc_0} = -Cd\theta;$$

$$Cd\theta = -\frac{dG}{G_0}. \qquad (1.4)$$

Произведение $Cd\theta$ в уравнении (1.4) равно доле от первоначально введенного трассера, которая выходит из аппарата за промежуток времени $d\theta$.

Очевидно, что трассер как таковой нас не интересует. Он нужен только для выделения *частиц (комков) сплошной среды,* вошедших в аппарат в момент времени $\tau=0$. Другими словами, он нужен для того, чтобы определить *закон распределения* частиц потока по времени пребывания в аппарате, который достаточно полно характеризует *уникальность структуры потоков* в *технологическом* аппарате. Подробно см., например, [22, 23, 24, 35].

2. МЕТОД МОМЕНТОВ

2.1. Вероятность событий

Вероятность (*лат.* probabilitas - правдоподобие, *вероятность*) - числовая характеристика степени возможности наступления какого-либо определённого *события* в тех или иных определённых, могущих повториться неограниченное число раз условиях. Вероятность отражает особый тип связей между *явлениями*, характерных для массовых *процессов*. Обычно численное значение вероятности находится с помощью определения вероятности: вероятность равна *отношению* числа исходов n_1, "благоприятствующих" данному событию, к общему числу "равновозможных" исходов n. Связь вероятности p_1 с *частотой события* n_1/n достаточно сложна и зависит от общего числа испытаний n. Чем больше число n, тем реже встречаются сколько-либо значительные отклонения частоты n_1/n от вероятности p_1. В соответствии с этим, отчасти неточным, *частотным* определением вероятности, вероятность осуществления события B будет пределом:

$$P(B)=\lim_{n\to\infty} \frac{n_1}{n}, \qquad (2.1)$$

причём *частота события* n_1/n является *случайной величиной* (в отличие от вероятности p_1).

Таким образом, каждому событию B соответствует некоторое неотрицательное число - его вероятность:

$$0<P(B)<1, \qquad (2.2)$$

причём для невозможного события $P(H)=0$, для достоверного $P(D)=1$. В соответствии с этими аксиомами падение подброшенной монеты на землю является достоверным событием, её "взлёт" - невозможное событие, а вероятности выпадения "герба" или "решки" - по 1/2 соответственно (предполагается, что *идеальная* монета не имеет флуктуаций плотности по объёму, имеет одинаковую толщину и радиус и не может встать на ребро). Другими словами, результат падения монеты (и не только монеты) - *случайная величина*. Подробно см., например, [6, 7, 17, 20, 25, 26, 29, 33].

2.2. Распределение вероятностей случайной величины

Для *дискретных случайных величин* характерно то, что они могут принимать те или иные значения только в фиксированных *интервалах* и их значения в соседних интервалах скачкообразно изменяются (рис.6).

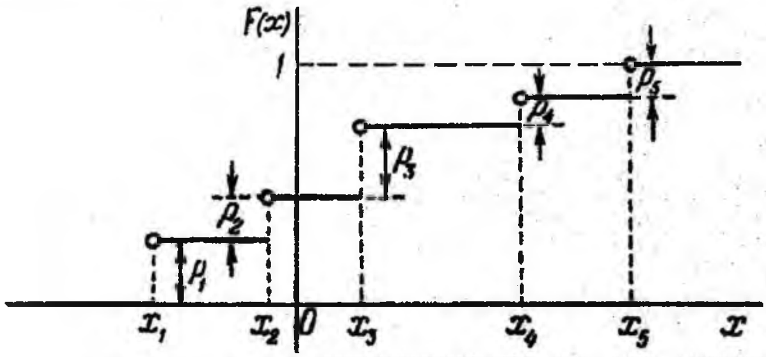

Рис.6. Функция распределения дискретной случайной величины x. Вероятности p_1 соответствуют событиям $X=x_1$

Распределение вероятностей называется дискретным, если случайная величина X может принимать только **конкретные** возможные значения

$$x_1,\ x_2, \ldots,\ x_n,$$

которым соответствуют вероятности $P(X=x_1)$

$$p_1,\ p_2, \ldots,\ p_n, \quad \text{причём } p_1>0;\ \Sigma p_1=1.$$

Наиболее простым примером дискретной *системы* является система целых чисел 1, 2, 3,..., ∞ (в отличие от системы действительных чисел, которая является непрерывной). Значения дискретных случайных величин определяются с абсолютной точностью. Другими словами, результат *события* однозначен. Например, исход бросания *идеальной* монеты - "герб" или "решка"; исход бросания идеальной игральной кости (число "очков") - целое число от единицы до шести, исход бросания двух игральных костей - целое число от двух до двенадцати; конечно количество бракованных изделий в партии и др.

Для дискретных случайных величин принято пользоваться вероятностью события $X<x$, где x - целое число, принадлежащее *интервалу* $(x_{min},\ x_{max})$, а X - случайная величина. Эта вероятность является *функцией* от x:

$$P(X<x)=F(x) \tag{2.3}$$

и называется **функцией распределения дискретной случайной величины**. Если случайная величина X принимает конечное число дискретных значений (например, число очков на гранях игральной кости), то *функция распределения* вероятностей этой случайной величины представляет собой ступенчатую функцию (рис.7). В соответствии с таким *определением* вероятность выпадения нуля для идеальной игральной кости равна нулю, вероятность выпадения одного очка равна 1/6, одного или двух - 2/6 и т.д. Вероятность выпадения любого результата от 1 до 6 равна 1, это достоверное событие (см. рис.7). Аналогичны рассуждения при бросании двух игральных костей (рис.8). Соответствующие вероятности см. в статье "*Распределение вероятностей*". (На рис.7 и 8 взяты две формы представления функций распределения - "ступеньками" и "столбиками". Есть и другие формы представления, например, рис.6).

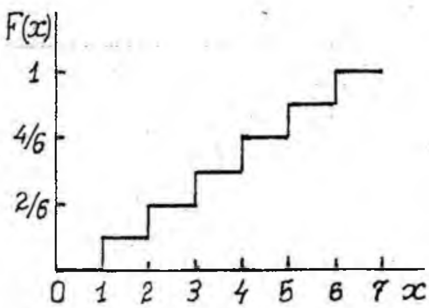

Рис.7. Функция распределения числа очков при бросании идеальной игральной кости

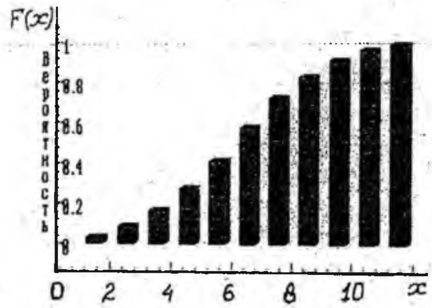

Рис.8. Функция распределения числа очков при бросании двух игральных костей

Для непрерывных случайных величин принято пользоваться вероятностью события $X<x$, где x - произвольное действительное число, принадлежащее интервалу $(-\infty, +\infty)$, а X - случайная величина (рис.9). Эта вероятность является функцией от x:

$$P(X<x)=F(x), \tag{2.4}$$

и называется **функцией распределения непрерывной случайной величины** (ср. с (2.3)).

Для произвольной функции $F(x)$ если $x_1<x_2$, то $F(x_1)<F(x_2)$ (см. рис.9). Максимальное значение $F(x)=1$. Ордината кривой, соответствующая точке x_1, представляет собой вероятность того, что случайная

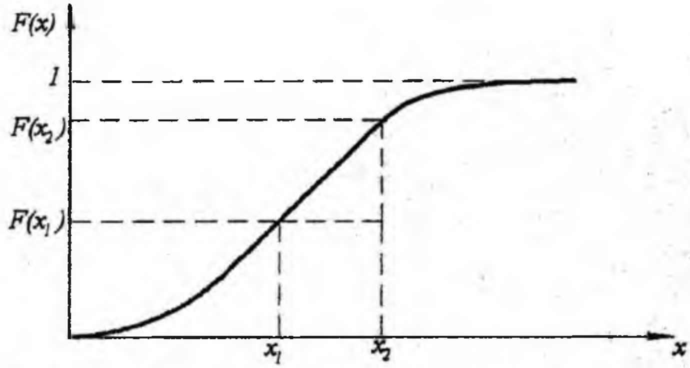

Рис.9. Функция распределения вероятностей непрерывной случайной величины

величина X при испытании окажется меньше x_1. Ордината кривой, соответствующая точке x_2, представляет собой вероятность того, что случайная величина X при испытании окажется меньше x_2. Разность двух ординат, соответствующая точкам x_1 и x_2, даёт вероятность того, что значения случайной величины будут лежать в *интервале* между x_1 и x_2:

$$P(x_1<X<x_2)=F(x_2)-F(x_1). \qquad (2.5)$$

Очевидно, что при предельных значениях аргумента:

$$F(-\infty)=0; \quad F(+\infty)=1.$$

На рис.10,а приведена *функция распределения вероятностей* непрерывной случайной величины - положения стрелки часов в случайные *моменты* времени. Очевидно, что функция распределения вероятностей является монотонной и неубывающей.

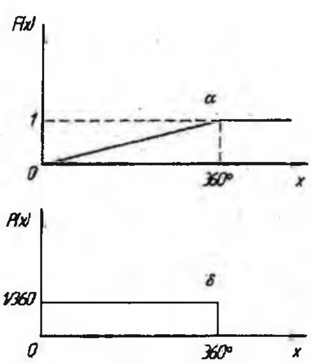

Рис.10. Распределение положения стрелки часов в случайные моменты времени

Система действительных чисел является непрерывной *системой*. Непрерывными случайными величинами являются, например, температура, давление, *концентрация*, размеры и масса частиц дисперсной фазы, величина пор породы, *коэффициент* проницаемости и др. В отличие от дискретной случайной величины каждый результат измерения непрерывной случайной величины X уникален и неповторим, а вероятность получения конкретного точного значения равна нулю, $P(X=x_1)=0$. Это объясняется тем, что при повышении точности измерения одной и той же *физической величины* всегда будет некоторая разность между двумя любыми измерениями. С другой стороны, если точность собственно измерения физической величины постоянна, но *процесс* развивается во времени и/или в пространстве (например, химическая реакция, движение жидкости, изменение температуры тела и тому подобное), то совокупное влияние *множества* случайных *факторов*, сопровождающих исследуемый процесс, в той или иной степени исказит результаты всех измерений и зависимость исследуемой физической величины от независимой не будет идеально гладкой, - *экспериментальная* зависимость будет представлять собой ломаную линию, другими словами, экспериментальные данные будут образовывать некоторую кривую, имеющую больший или меньший "разброс" значений. При значительном разбросе значений принято говорить, что кривая имеет "выпадающие точки". Повторение процесса в тех же условиях даст близкие результаты, но другие.

Для характеристики непрерывной случайной величины обычно употребляют производную *функции распределения* - **плотность распределения** (*плотность вероятностей*) случайной величины X:

$$p(x)=F'(x). \tag{2.6}$$

Плотность распределения вероятностей случайной величины является неотрицательной функцией (рис. 11).

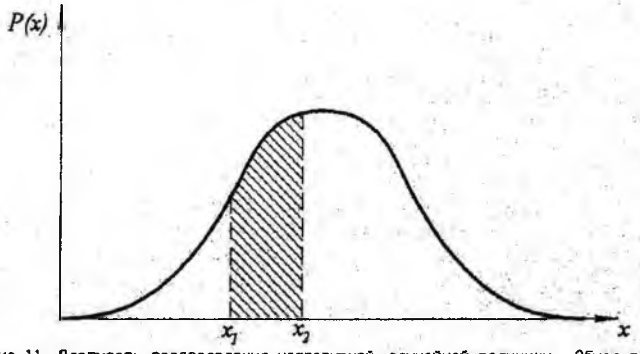

Рис.11. Плотность распределения непрерывной случайной величины. Общая площадь под кривой равна 1. Площадь заштрихованного участка равна вероятности того, что случайная величина X примет значение в интервале x_1-x_2

Площадь, заштрихованная на графике плотности распределения случайной величины, равна вероятности того, что случайная величина X примет значения в интервале x_1-x_2:

$$P(x_1<X<x_2)=\int_{x_1}^{x_2} p(x)\,dx=F(x_2)-F(x_1). \qquad (2.7)$$

Общая площадь под кривой плотности вероятностей случайной величины равна единице:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x)\,dx=1. \qquad (2.8)$$

Это означает, что случайная величина, имеющая плотность распределения $p(x)$, примет то или иное значение в *интервале* $-\infty<X<+\infty$; это достоверное событие. На рис.10,б приведена плотность распределения положения стрелки часов в случайные моменты времени. Очевидно, что положение стрелки часов имеет равномерное распределение, т.е. вероятность какого-либо конкретного положения одинакова и равна 1/360. Вероятность любого положения стрелки часов равна 1. Подробно см. [3, 5, 6, 7, 10, 13, 17, 20, 25, 26, 32, 33, 54].

2.3. Распределение частиц потока по времени пребывания в аппарате

Очевидно, что *вероятность* выхода каких-либо *частиц* (*комков*) из *аппарата* за промежуток времени от θ_1 до θ_2 выразится уравнением:

$$P(\theta_1<\theta<\theta_2)=\int_{\theta_1}^{\theta_2} C\,d\theta, \qquad (2.9)$$

а для верхнего предела $[0,\theta]$ -

$$\int_0^{\theta} C\,d\theta=F(\theta). \qquad (2.10)$$

Функцию $F(\theta)$ называют интегральной *функцией распределения* времени пребывания. Она определяет вероятность того, что время пребывания некоторой частицы окажется меньше θ. Проинтегрируем уравнение (1.4):

$$\int_0^{\infty} C\,d\theta=-\int_{G_0}^{0} \frac{dG}{G_0}=1; \qquad (2.11)$$

т.е. вероятность того, что некоторая частица когда-нибудь выйдет из аппарата, равна 1.

В тех случаях, когда начальная *концентрация трассера* на входе в исследуемый объект при *импульсном* возмущении не может быть определена *экспериментально*, она может быть вычислена по следующему выражению:

$$c_0 = \int_0^\infty c d\theta = \frac{1}{\bar{\tau}} \int_0^\infty c d\tau. \qquad (2.12)$$

Функции $C(\theta)$ и $F(\theta)$ связаны и обратным *соотношением*:

$$C(\theta) = \frac{dF}{d\theta}. \qquad (2.13)$$

Функцию $C(\theta)$ еще называют C-кривой или кривой вымывания трассера из аппарата при импульсном возмущении. Функцию $F(\theta)$ называют F-кривой, или кривой разгона при ступенчатом возмущении. Их графическая интерпретация представлена на рис. 12 и 13.

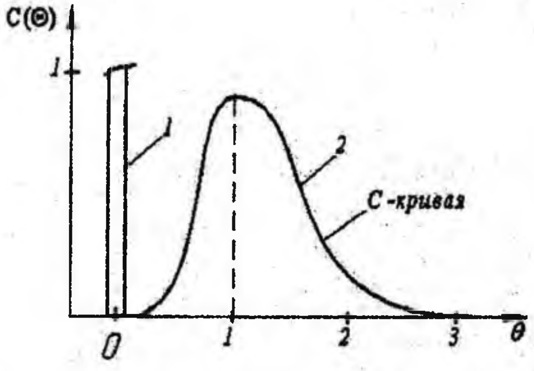

Рис.12. Кривая отклика реального аппарата на импульсный ввод трассера. 1 - возмущающий сигнал (ввод трассера); 2 - функция отклика (выход трассера с потоком жидкости)

Параметрическая концентрация трассера при ступенчатом возмущении вычисляется по формуле:

$$F = \frac{c}{c_0}, \qquad (2.14)$$

где c_0 - концентрация трассера на входе в аппарат.

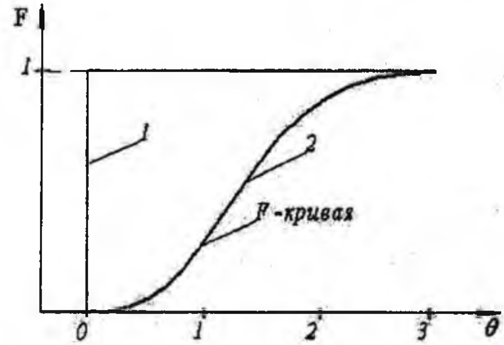

Рис.13. Кривая отклика реального аппарата на ступенчатый ввод трассера. 1 - возмущающий сигнал (ввод трассера); 2 - функция отклика (выход трассера с потоком жидкости)

2.4. Основные характеристики распределений

Известно, что *закон распределения случайной величины* полностью определяет случайную величину. Однако результаты испытаний *аппаратов* на *импульсный* и ступенчатый ввод *трассера* обычно представлены в виде таблиц и соответствующих *C*- и *F*-кривых. Для сравнения разных аппаратов, с различными внутренними устройствами, испытываемых в различных режимах и *анализа структуры потоков* в них, принято выражать характерные особенности случайных величин при помощи ***числовых характеристик***, называемых ***моментами случайной величины***. Моменты распределения полностью характеризуют само распределение, следовательно, ими можно пользоваться для сопоставления распределений без сравнения соответствующих кривых.

Классификация моментов

Моменты систематизируются по трем признакам:

по порядку момента β;

по началу отсчета случайной величины;

по виду случайной величины.

Порядок момента β может быть любой целой величиной. Практическое применение имеют моменты нулевого, первого, второго, третьего и четвертого порядков, т.е. β=0, 1, 2, 3, 4.

По началу отсчета случайной величины моменты могут быть начальными и *центральными*. По виду - для *дискретных* и непрерывных величин.

Для дискретной случайной величины ***начальный момент*** β-того порядка определяется формулой:

$$m_\beta = \sum_{i=1}^{n} x^\beta{}_i p_i. \tag{2.15}$$

для непрерывной случайной величины:

$$m_\beta = \int_{-\infty}^{+\infty} x^\beta p(x)dx. \tag{2.16}$$

Начальный момент нулевого порядка или нулевой начальный момент:

$$m_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx=1. \tag{2.17}$$

Он характеризует площадь, находящуюся под кривой распределения.

Начальный момент первого порядка или первый начальный момент характеризует ***математическое ожидание*** (*центр* тяжести площади фигуры под кривой $p(x)$) случайной величины. Математическое ожидание определяет положение центра, вокруг которого группируются все возможные значения случайной величины. *Оценка* математического ожидания для *дискретной* случайной величины определяется формулой:

$$M_x \approx m_1 = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i; \tag{2.18}$$

для непрерывной случайной величины:

$$M_x \approx m_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx. \tag{2.19}$$

Примечание: в формулах (2.18) и (2.19) знак "≈" поставлен потому, что в результате *эксперимента* получают *выборку* из *совокупности*, и в этом случае начальный момент первого порядка будет являться одной из возможных оценок *математического ожидания* (см. также *Среднее, среднее значение*).

Поскольку математическое ожидание M_x определяет *центр* группирования случайной величины, в точку M_x переносят начало *координат*. Случайные величины, отсчитываемые от центра группирования M_x, называются ***центрированными***, а моменты центрированной случайной величины - ***центральными***.

Центральный момент β-того порядка для *дискретной* случайной величины определяется формулой:

$$\mu_\beta=\sum_{i=1}^{n}(x_i-M_x)^\beta p_i, \tag{2.20}$$

для непрерывной случайной величины:

$$\mu_\beta=\int_{-\infty}^{+\infty}(x-M_x)^\beta p(x)\,dx. \tag{2.21}$$

Очевидно, что нулевой центральный момент $\mu_0=1$ и выражает площадь под кривой распределения.

Первый центральный момент $\mu_1=0$ - *математическое ожидание* центрированной величины равно нулю.

Второй центральный момент характеризует рассеивание случайной величины *относительно среднего значения* и называется ***дисперсией***, обозначаемой $s^2{}_x$. Для дискретной случайной величины:

$$\mu_2=\sum_{i=1}^{n}(x_i-M_x)^2 p_i=s^2{}_x, \tag{2.22}$$

для непрерывной:

$$\mu_2=\int_{-\infty}^{+\infty}(x-M_x)^2 p(x)\,dx=s^2{}_x. \tag{2.23}$$

Из *теории вероятности* известно, что плотность распределения вероятностей случайной величины, подчиняющейся *нормальному закону* распределения, описывается уравнением:

$$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\cdot e^{-(x-M_x)^2/2\sigma^2}, \tag{2.24}$$

где M_x - *математическое ожидание* случайной величины; σ^2 - *генеральная* дисперсия или дисперсия *совокупности*. Эти два *параметра* полностью определяют местоположение и *форму* кривой Гаусса. Нормальное распределение важно и теоретически наиболее глубоко разработано, поэтому экспериментально полученные распределения принято с ним сравнивать. Для сравнения экспериментального распределения и более полного его описания применяют моменты высших порядков.

Третий центральный момент характеризует скошенность или *асимметрию* распределения:

$$\mu_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^3 p(x)\,dx. \tag{2.25}$$

Безразмерный коэффициент асимметрии вычисляется по формуле:

$$A_x = \frac{\mu_3}{\sigma^3_x}. \tag{2.26}$$

Для нормального распределения $A_x=0$ (рис.14).

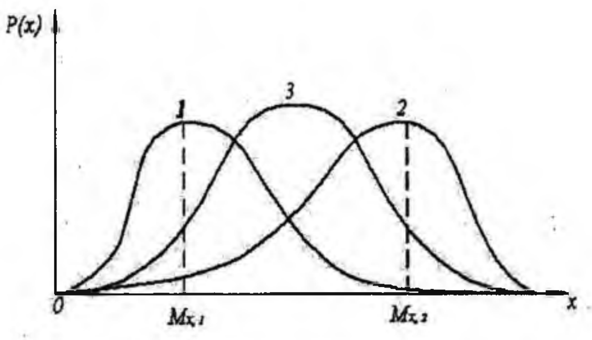

Рис.14. Асимметричное распределение вероятностей случайной величины: 1 - кривая с положительной асимметрией; 2 - кривая с отрицательной асимметрией; 3 - кривая нормального распределения

Четвертый центральный момент характеризует "**крутость**" **распределения**, т.е. **островершинность** или **плосковершинность** распределения:

$$\mu_4 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^4 p(x)\,dx. \tag{2.27}$$

Безразмерный коэффициент, описывающий эти свойства, называется *эксцессом*:

$$E_x = \frac{\mu_4}{\sigma^4_x} - 3. \tag{2.28}$$

В уравнении (2.28) число 3 вычитается потому, что для нормального распределения (распределения Гаусса) *отношение* $\mu_4/s^4{}_x=3$. Следовательно, для нормального распределения эксцесс $E_x=0$ (рис. 15).

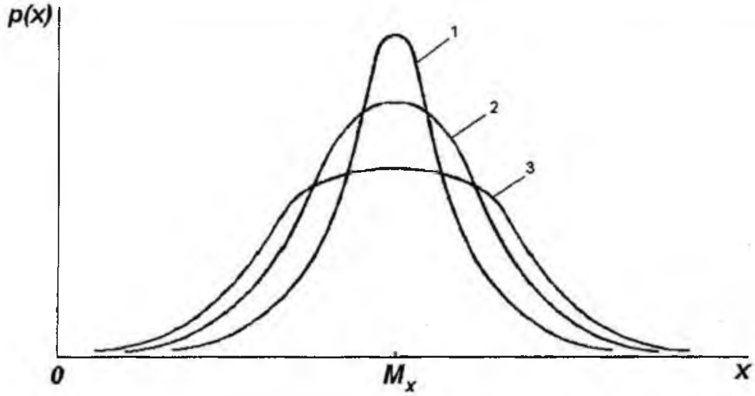

Рис. 15. Плотности вероятностей симметричных распределений различной "крутизны":
1 - островершинное распределение; 2 - нормальное распределение;
3 - плосковершинное распределение

Вышеприведенные моменты случайной величины позволяют сравнить экспериментальное распределение с теоретическими *законами* распределениями (*нормальным*, биномиальным, гамма-распределением, геометрическим, Коши, Лапласа, Максвелла, Паскаля, Пирсона, Пуассона, Рэлея, показательным, равномерным, хи-квадрат и другими) и в результате сравнения установить закон изучаемого *явления*.

Применительно к исследованию *гидродинамики* потоков в *технологических* аппаратах начальные моменты в параметрических *координатах* $m_1(\theta)$, $m_2(\theta)$, $m_3(\theta)$, $m_4(\theta)$ и центральные - $\mu_2(\theta)$, $\mu_3(\theta)$, $\mu_4(\theta)$ являются достаточно полной *статистической моделью* структуры потоков в исследуемом объекте. Достаточно ценную *информацию* представляют также начальные и центральные моменты в *физических* координатах $m_1(\tau)$, $m_2(\tau)$, $m_3(\tau)$, $m_4(\tau)$, $\mu_2(\tau)$, $\mu_3(\tau)$, $\mu_4(\tau)$.

Анализ моментов распределения *частиц потока* по времени пребывания в аппарате позволяет определить наличие струйного течения, эффекта проскальзывания, коэффициент продольного перемешивания, выявить наличие и объём застойных зон и в конечном итоге определить действительную структуру потоков в аппарате.

3. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ

3.1. Импульсное возмущение

Рассмотрим последовательность *анализа функции отклика* исследуемого объекта на *импульсное* возмущение. При таком испытании *аппарата* организуется подача жидкости в него, и в *момент* $\tau=0$ на входе в *поток* жидкости за короткий промежуток времени вводится некоторое количество раствора *трассера*. Через некоторое время (зависящее от объёма аппарата и расхода жидкости) на выходе из аппарата начинают отбирать *пробы* жидкости для определения *концентрации* трассера. *Экспериментальные* данные отклика *технологических* аппаратов на возмущающее воздействие получают либо в графической *форме* с помощью самопишущего вторичного прибора (см. рис.2, 5, 12, 13), либо в табличной форме, если на выходе из объекта производится отбор проб для анализа. Поэтому значения интегралов в формулах (2.19), (2.23), (2.25), (2.27) приходится выполнять численным *методом*, используя кусочно-линейную аппроксимацию.

3.1.1. Вычисление начальных моментов

В соответствии с формулой (2.16) начальный момент β-того порядка:

$$m_\beta = \int_0^\infty \tau^\beta C(\tau)d\tau = \frac{1}{\beta+1}\int_0^\infty C(\tau)d(\tau^{\beta+1}). \tag{3.1}$$

Для вычисления интеграла (28) воспользуемся методом трапеций. В этом случае площадь элементарного участка (рис.16) будет выражаться формулой:

$$S_1=\bar{c_1}(\tau_{1+1}-\tau_1), \tag{3.2}$$

а для эквидистантных точек (для случая отбора *проб* через равные *интервалы* времени):

$$S_1=\bar{c}_1\Delta\tau, \tag{3.3}$$

где:

$$\bar{c}_1=\frac{c_1+c_{1+1}}{2}.$$

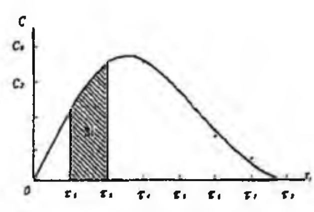

Рис.16. Процедура вычисления интегралов при обработке результатов испытания проточного аппарата импульсным возмущением

Таким образом,

$$m_\beta = \frac{1}{\beta+1}\sum_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i\left(\tau_{i+1}^{\beta+1} - \tau_i^{\beta+1}\right). \tag{3.4}$$

Для того чтобы моменты *распределения частиц потока* по времени пребывания в объекте не зависели от количества введенного *трассера* необходимо произвести *приведение* их к *параметрическому* виду, т.е. преобразование $C=c/c_0$, для чего правую часть уравнения (3.4) разделить на нулевой начальный момент, который характеризует площадь под C-кривой, равную 1:

$$m_\beta = \frac{\dfrac{1}{\beta+1}\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i\left(\tau_{i+1}^{\beta+1} - \tau_i^{\beta+1}\right)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i(\tau_{i+1}-\tau_i)}. \tag{3.5}$$

Для случая эквидистантных точек формула (3.5) упрощается, и в общем виде можно записать так:

$$m_\beta = \frac{\dfrac{1}{\beta+1}\sum\limits_{i=1}^{n-1}\left\{\bar{C}_i\sum\limits_{k=1}^{\beta+1}\left(\tau_{i+1}^{\beta+1-k}\cdot\tau_i^{k-1}\right)\right\}}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i}. \tag{3.6}$$

В нашем случае начальный момент первого порядка имеет смысл *среднего* времени пребывания жидкости в аппарате:

$$\bar{\tau} = m_1(\tau) = \frac{\dfrac{1}{2}\cdot\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i(\tau_{i+1}+\tau_i)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{C}_i}. \tag{3.7}$$

Среднее время пребывания, определенное по формуле (3.7), в общем случае отличается от среднего времени пребывания, вычисляемого по формуле (1.3). См. также (2.19), (М-1), (М-11), (О-1).

Начальный момент второго порядка:

$$m_2(\tau) = \frac{\frac{1}{3}\cdot\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i(\tau_{i+1}^2 + \tau_{i+1}\tau_i + \tau_i^2)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i}. \tag{3.8}$$

Аналогично получаются из (3.6) расчётные формулы для начальных моментов третьего $m_3(\tau)$ и четвёртого $m_4(\tau)$ порядков.

3.1.2. Приведение переменных

Рассмотрим начальные *моменты* нулевого порядка (2.16) для *функций отклика* $C(\tau)$ в *координатах* $(C-\tau)$ и функции отклика $C(\theta)$ в *приведенных* (*параметрических*) координатах $(C-\theta)$:

$$m_0(\tau) = \int_0^\infty \tau^0 C(\tau)d\tau = 1; \tag{3.9}$$

$$m_0(\theta) = \int_0^\infty \theta^0 C(\theta)d\theta = 1. \tag{3.10}$$

Заменим *переменную* в уравнении (3.10):

$$\theta=\tau/\bar{\tau}; \quad d\theta=d\tau/\bar{\tau};$$

$$m_0(\theta) = \int_0^\infty C(\tau/\bar{\tau})\cdot(1/\bar{\tau})d\tau = 1. \tag{3.11}$$

Сравнивая (3.11) и (3.9) получим:

$$C(\theta) = \bar{\tau}C(\tau). \tag{3.12}$$

Уравнение (3.12) позволяет преобразовать кривую $C(\tau)$ в кривую отклика $C(\theta)$ в параметрических координатах.

Из уравнения (3.12) видно, что переход от *физического* времени к параметрическому для δ-функции сопровождается трансформацией функции отклика по обеим координатам. Переход к параметрическому времени для ступенчатого возмущения сопровождается трансформацией F-кривой только в направлении оси абсцисс.

3.1.3. Приведение начальных моментов

Рассмотрим начальные *моменты* β-того порядка (2.16) для кривых $C(\tau)$ и $C(\theta)$:

$$m_\beta(\tau) = \int_0^\infty \tau^\beta C(\tau)\,d\tau; \tag{3.13}$$

$$m_\beta(\theta) = \int_0^\infty \theta^\beta C(\theta)\,d\theta. \tag{3.14}$$

Преобразуем (3.14) с помощью (1.3) и (3.12):

$$m_\beta(\theta) = \int_0^\infty \frac{\tau^\beta}{\bar{\tau}^\beta}\, C(\tau)\bar{\tau}\,\frac{d\tau}{\bar{\tau}} = \frac{1}{\bar{\tau}^\beta}\int_0^\infty \tau^\beta C(\tau)\,d\tau. \tag{3.15}$$

Сравнивая (3.15) и (3.13), мы получим формулу для *приведения* начальных моментов в *параметрические координаты*:

$$m_\beta(\theta) = \frac{m_\beta(\tau)}{\bar{\tau}^\beta}. \tag{3.16}$$

Необходимо обратить внимание на тот факт, что приведение начальных моментов в параметрические координаты осуществляется с помощью *среднего* времени пребывания определённого *методом* моментов, а не по формулам (1.3).

3.1.4. Вычисление центральных моментов

В соответствии с уравнением (2.21) для центрального *момента* β-того порядка можно записать так:

$$\mu_\beta(\tau) = \int_0^\infty (\tau-\bar{\tau})^\beta C(\tau)\,d\tau. \tag{3.17}$$

Найдем *соотношение* между центральным и начальным моментами на примере момента второго порядка:

$$\mu_2(\tau) = \int_0^\infty (\tau-\bar{\tau})^2 C(\tau)\,d\tau = \int_0^\infty (\tau^2-\tau\bar{\tau}+\bar{\tau}^2)C(\tau)\,d\tau =$$

$$= \int_0^\infty \tau^2 C(\tau)d\tau - 2\bar{\tau}\cdot\int_0^\infty \tau C(\tau)d\tau + \bar{\tau}^2\cdot\int_0^\infty C(\tau)d\tau. \qquad (3.18)$$

Очевидно, что:

$$\int_0^\infty \tau^2 C(\tau)d\tau = m_2(\tau);$$

$$\int_0^\infty \tau C(\tau)d\tau = m_1(\tau) = \bar{\tau}; \qquad (3.19)$$

$$\int_0^\infty C(\tau)d\tau = m_0(\tau) = 1.$$

Подставляем уравнения (3.19) в (3.18), тогда:

$$\mu_2(\tau) = m_2(\tau)-\bar{\tau}^2. \qquad (3.20)$$

Произведя аналогичные преобразования для остальных центральных моментов, получим:

$$\mu_1(\tau) = 0; \qquad (3.21)$$

$$\mu_3(\tau) = m_3(\tau) - 3m_2(\tau)\bar{\tau} + 2\bar{\tau}^3; \qquad (3.22)$$

$$\mu_4(\tau) = m_4(\tau) - 4m_3(\tau)\bar{\tau} + 6m_2(\tau)\bar{\tau}^2 - 3\bar{\tau}^4. \qquad (3.23)$$

3.1.5. Приведение центральных моментов

В соответствии с уравнением (2.21) для центрального *момента* β-того порядка в *параметрических координатах* можно записать:

$$\mu_\beta(\theta) = \int_0^\infty (\theta-1)^\beta C(\theta)d\theta. \qquad (3.24)$$

Преобразуем (3.24) с помощью (1.3) и (3.12):

$$\mu_\beta(\theta) = \int_0^\infty \left(\frac{\tau-\bar{\tau}}{\bar{\tau}}\right)^\beta \bar{\tau}C(\tau)d\tau = \frac{1}{\bar{\tau}^\beta}\int_0^\infty (\tau-\bar{\tau})^\beta C(\tau)d\tau. \qquad (3.25)$$

Сравнивая (3.25) с (3.17), получим:

$$\mu_\beta(\theta)=\frac{\mu_\beta(\tau)}{\bar{\tau}^\beta}. \qquad (3.26)$$

3.2. Ступенчатое возмущение

Рассмотрим последовательность *анализа функции отклика* исследуемого *аппарата* на ступенчатое возмущение. При таком испытании организуется подача жидкости в аппарат, и в *момент* $\tau=0$ включается дозировочный насос, подающий раствор *трассера* в *поток* жидкости на входе. Через некоторое время (зависящее от объёма аппарата и расхода жидкости) на выходе из аппарата начинают отбирать *пробы* жидкости для *определения концентрации* трассера.

Результатом испытания аппарата на ступенчатый ввод трассера является интегральная F-кривая (см. рис. 2, б; рис. 5, а, б; рис. 13). Расчет начальных моментов β-того порядка кривой $F(\tau)$ осуществляется по уравнению:

$$m_\beta(\tau) = \beta\cdot\int_0^\infty \tau^{\beta-1}\{1-F(\tau)\}d\tau, \qquad (3.27)$$

а для *функции распределения*, заданной таблично, по уравнению:

$$m_\beta(\tau) = \beta\cdot\sum_{i=1}^{n} \tau_i^{\beta-1}(1-F_i)(\tau_{i+1}-\tau_i). \qquad (3.28)$$

Расчет центральных моментов осуществляется по формулам, приведенным в разделе 3.1. Подробно см., например, [22, 23, 24, 35].

Рассмотренные начальные и центральные моменты характеризуют распределение *частиц* (*комков*) потока по времени пребывания в трубопроводе, скважине, *технологическом* аппарате. Анализ моментов позволяет определить *параметры*, характеризующие особенности течения жидкости, и подобрать *математическую модель*, с достаточной точностью описывающую *структуру потоков* в аппарате. Ценность такого подхода заключается в том, что структура потоков в аппарате моментами распределения фиксируется фактически, т.е. учитывает особенности конкретного аппарата, скорость течения жидкости, вязкость, плотность и другие характеристики жидкости. Изменение характеристик жидкости (например, вследствие изменения температуры по длине нефтепровода или по глубине скважины) приведёт к изменению моментов распределения в большей или меньшей степени. И, как следствие, это отразится в параметрах количественно характеризующих структуру потоков жидкости в аппарате.

4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ

Идеальные модели

4.1. Модель идеального смешения

Основным допущением *модели идеального* смешения является мгновенное распределение входящего вещества по всему объему *аппарата* за счет *стохастического* движения частиц (*комков*). Таким образом, *концентрации* веществ и температура на входе в аппарат претерпевают скачок: исходные значения *параметров потока*, мгновенно смешивающегося с содержимым аппарата, соответственно мгновенно изменяются до *параметров* в объёме аппарата. Такой режим движения жидкости в аппарате называется **квазистационарным**, он достигается при большой скорости вращения мешалки, наличии в аппарате отражательных перегородок и, в случае проточных аппаратов смешения, *относительно* малом объемном расходе жидкости (рис.3). Этот режим приводит к тому, что концентрация вещества одинакова по всему объему аппарата:

$$c_1(\tau)=c_j(\tau)=\ldots=c(\tau)=c_{вых}(\tau). \qquad (4.1)$$

Модель идеального смешения - модель с сосредоточенными параметрами, так как концентрация любого вещества, не только *трассера*, является только *функцией* времени, $c=f(\tau)$, и не является функцией пространства:

$$\frac{dc}{dV}=0; \qquad (4.2)$$

$$\frac{dT}{dV}=0. \qquad (4.3)$$

Уравнение модели в дифференциальном виде [22, 24, 27, 35]:

$$\frac{dc}{d\tau} = \frac{1}{\bar{\tau}}\,(C_{вх} - C_{вых}). \qquad (4.4)$$

Проверка аппарата на идеальность *гидродинамического* режима при *импульсном* вводе трассера осуществляется по уравнению:

$$C = \exp(-\theta); \qquad (4.5)$$

а при ступенчатом вводе трассера по преобразованному уравнению (2.14):

$$F=\frac{C}{C_0}=1-\exp(-\theta). \qquad (4.6)$$

Кривые отклика проточного аппарата идеального смешения представлены на рис.17, а и б. Примером проточного аппарата со *структурой потоков*, близкой к модели идеального смешения, является химический реактор с турбинной мешалкой при относительно небольшом расходе жидкой фазы, а примером периодически действующего - бытовой миксер.

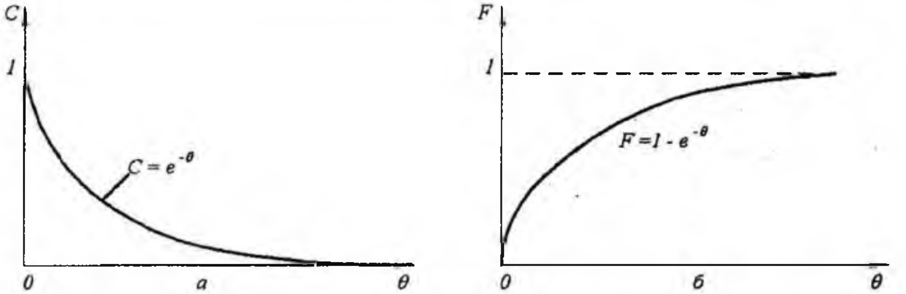

Рис.17. Кривые отклика аппарата идеального смешения на импульсный (а) и ступенчатый (б) ввод трассера

4.2. Модель идеального вытеснения

Если *модель идеального* смешения - модель полностью *стохастического* движения *частиц (комков) жидкости* (предельно неупорядоченного), аналога реального газа, то модель идеального вытеснения представляет собой другую крайность - модель с предельно упорядоченным движением частиц жидкости (рис.4). В соответствии с этой моделью принимается *ламинарное* течение *идеальной* жидкости, при котором все частицы *потока* движутся строго параллельно оси *аппарата* и время пребывания всех частиц одинаково:

$$\bar{\tau} = \frac{V}{\nu}, \qquad (4.7)$$

где ν=const (т.е. плотность жидкости не изменяется). Если плотность жидкости изменяется по длине аппарата, то *среднее* время пребывания можно вычислять при условиях на входе в аппарат:

$$\vartheta = \frac{V}{\nu_0}, \tag{4.8}$$

где ϑ - **условное** время пребывания. В тех случаях, когда в *процессе* движения жидкости её плотность меняется (например, движение воды в трубках калорифера газовой колонки, движение подогретой нефти в трубопроводе в холодное время года, движение реакционной массы в трубчатом политропическом или адиабатическом химическом реакторе и т.п.), вычисление действительного времени пребывания является непростой задачей.

Уравнение модели идеального вытеснения [22, 24, 27, 35]:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w\,\frac{\partial c}{\partial l}, \tag{4.9}$$

где $\partial c/\partial \tau$ - скорость изменения *концентрации трассера* на выходе из проточного аппарата, l - *координата* длины, w - скорость потока, $\partial c/\partial l$ - *градиент* концентрации трассера в осевом направлении.

Уравнение модели идеального вытеснения удовлетворительно описывает *гидродинамику* потоков в трубчатых аппаратах при $Re>2320$ и *отношении* длины аппарата к диаметру больше 20-100. На рис.18 представлены *функции отклика* аппарата идеального вытеснения на *импульсный* и ступенчатый ввод трассера.

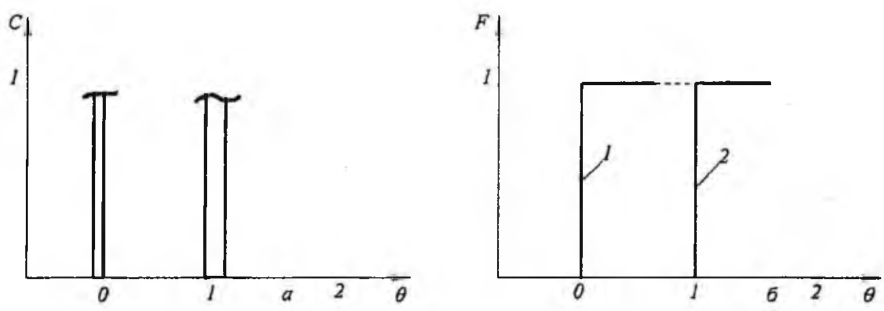

Рис.18. Отклики аппарата идеального вытеснения на импульсный (а) и ступенчатый (б) ввод трассера

Неидеальные модели

Между двумя *идеальными* моделями движения жидкости находятся все реальные аппараты - проточные реакторы с мешалками, трубчатые реакторы, смесители, ректификационные колонны, абсорберы, десорберы, экстрационные аппараты, дегазаторы, отстойники, кожухотрубчатые теплообменники и многие другие. Во всех аппаратах в той или иной *мере* присутствуют струйное течение, внутренний байпас, обратное и поперечное перемешивание, застойные зоны (см. рис.1). Так, в аппаратах с мешалками наблюдаются застойные зоны, циркуляционные *потоки* и внутренний байпас (рис.19).

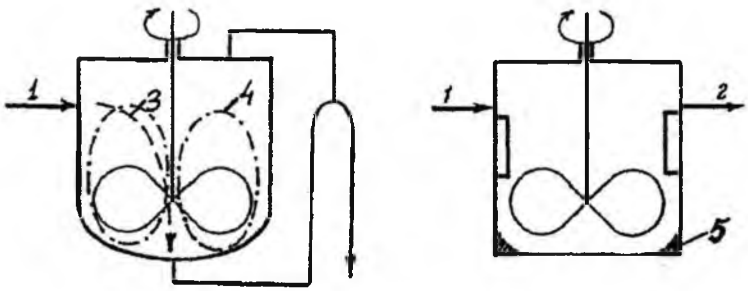

Рис.19. Примеры отклонения течения потока от идеального в проточных аппаратах смешения: (1) вход жидкости; (2) выход; (3) внутренний байпас; (4) циркуляционные потоки; (5) застойные зоны

В трубчатых аппаратах при *турбулентном* режиме течения наблюдаются *частицы* жидкости, отстающие от основного потока и даже неподвижные (рис.20). Толщина гидродинамического *пограничного слоя* зависит и от реологических характеристик жидкости, и от скорости движения. В трубчатых или колонных аппаратах при турбулентном режиме течения вследствие турбулентных пульсаций наблюдается неравномерность профиля скоростей (рис.21). *Распределение* частиц потока по скоростям характеризуется *коэффициентом* турбулентной *диффузии* $D_{турб}$. В отличие от коэффициента молекулярной диффузии D, являющегося *физической* характеристикой вещества и *среды*, коэффициент турбулентной диффузии $D_{турб}$ зависит в основном от

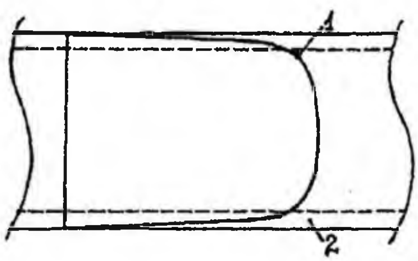

Рис.20. Примерный профиль скоростей частиц ньютоновой жидкости в трубчатом аппарате. При турбулентном режиме движения 1-эпюра скоростей потока; 2-гидродинамический пограничный слой.

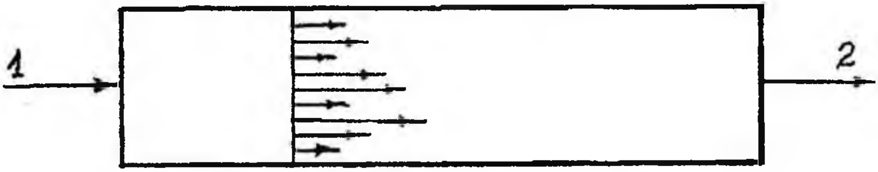

Рис.21. Пример неравномерности профиля скоростей частиц ньютоновской жидкости в проточном трубчатом аппарате. 1 - вход жидкости; 2 - выход

режима течения потока, в частности, от *критерия* Re. Не лучше обстоит дело в *ламинарном* потоке (рис.22). Поскольку при ламинарном режиме течения в жидкости наблюдается параболический профиль скоростей (строго говоря, в канале круглого сечения - параболлоид), то "помеченные" *трассером* в *момент* времени τ_0=0 частицы при времени τ_1 приобретут профиль S_1, при времени τ_2 - профиль S_2 и т.д.

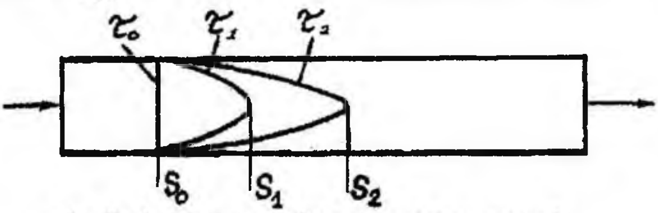

Рис.22. Формирование параболического профиля скоростей частиц потока и концентраций компонентов или трассера при ламинарном течении ньютоновской жидкости

Неравномерность профиля *концентраций* компонентов или трассера и скоростей в сечениях потока приводит к возникновению так называемой тейлоровской диффузии, характеризуемой *коэффициентом* $D_{тейл}$. Этот *процесс* приводит к тому, что достаточно часто профили концентраций S_1, S_2 и так далее практически не наблюдаются. Так же, как и коэффициент турбулентной диффузии $D_{турб}$, коэффициент тейлоровской диффузии $D_{тейл}$ зависит, в основном, от режима течения потока. Иногда неравномерность профиля концентраций и скоростей в сечениях потока сильнее перемешивает слои жидкости, чем турбулентная диффузия [19].

4.3. Ячеечная модель

Физическая сущность ячеечной *модели* заключается в том, что реальный проточный *аппарат* рассматривается как *совокупность* целого числа последовательно соединённых аппаратов *идеального* смешения -

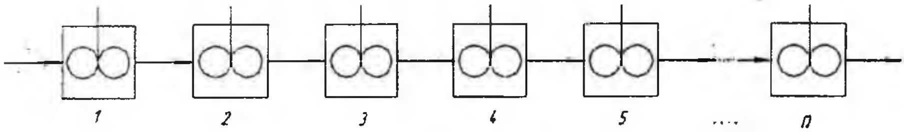

Рис.23. Ячеечная модель реального проточного аппарата.
1, 2,..., n - номера ячеек

ячеек (рис.23). В детектирующей модели предполагается, что *поток* может переходить только в каждую следующую ячейку, а обратное перемещение потока отсутствует. Основным *параметром* ячеечной модели является число ячеек n. Уравнение ячеечной модели включает n линейных дифференциальных уравнений первого порядка [22, 24, 27, 35]:

$$\frac{dc_i}{d\tau} = \frac{n}{\bar{\tau}}(c_{i-1} - c_i), \tag{4.10}$$

где i=1, 2,..., n - номер ячейки, $\bar{\tau}$ - *среднее* время пребывания жидкости, рассчитанное на весь объем аппарата, n - число ячеек. Предполагается, что объёмы всех ячеек одинаковы, т.е. V_i=const.

Уравнение ячеечной модели в интегральном виде:

$$C = \frac{n^n}{(n-1)!}\cdot\theta^{n-1}\exp(-n\theta). \tag{4.11}$$

Число ячеек можно определить по *экспериментальным* данным зависимости $c=f(\tau)$ по уравнению:

$$s^2(\theta) = \frac{1}{n}, \tag{4.12}$$

где *дисперсия* $s^2(\theta)$ или второй центральный *момент* $\mu_2(\theta) = s^2(\theta)$ определяется по формулам (3.26), (3.20) и (3.8).

Практически при $n\approx1$ ячеечная модель переходит в модель идеального смешения, а при $n>100$ в модель идеального вытеснения.

На рис.24 приведены кривые отклика аппаратов на *импульсное* и ступенчатое возмущение. В литературе рассматривается также ячеечная модель с обратными потоками [21, 22, 23, 24, 27].

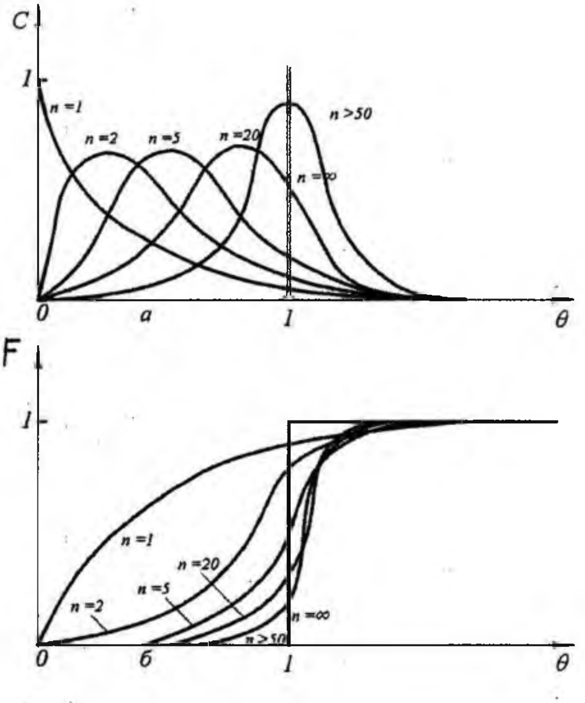

Рис.24. Кривые отклика ячеечной модели на импульсное (а) и ступенчатое (б) возмущение

4.4. Диффузионные модели

Основой *диффузионных моделей* является модель вытеснения, осложненная обратными *потоками* и потоками в радиальном направлении.

Однопараметрическая диффузионная модель предполагает наличие в потоке жидкости частиц (*комков*), вектор скорости которых в отдельные промежутки времени направлен в сторону, противоположную направлению движения основной массы потока (рис.25). Уравнение модели:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w\frac{\partial c}{\partial l} + D_l\frac{\partial^2 c}{\partial l^2}, \qquad (4.13)$$

где $\partial c/\partial \tau$ - *скорость* изменения *концентрации вещества* (*трассера*) на выходе из проточного *аппарата*, $\partial c/\partial l$ - *градиент* концентрации вещества вдоль оси, l - *координата* длины, w - *средняя* скорость потока, D_l - *коэффициент* продольной *диффузии*, учитывающий в общем слу-

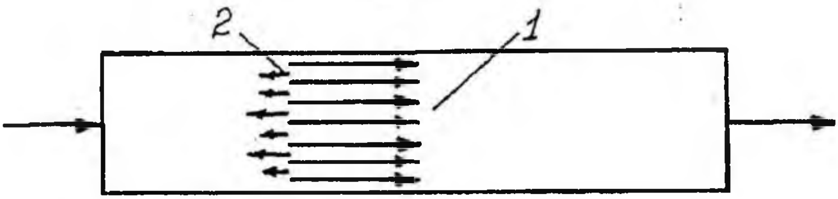

Рис.25. Диффузионная модель вытеснения с обратными потоками.
1 - основное направление движения частиц жидкости, 2 - частицы, векторы скоростей которых направлены в обратном направлении

чае молекулярную диффузию, *турбулентную диффузию* и неравномерность профиля скоростей (так называемую *тейлоровскую диффузию*) [22, 24, 27]. Основной *параметр* этой модели - *коэффициент* продольной диффузии (или коэффициент продольного перемешивания) D_l, который обычно рассчитывают из *безразмерного* комплекса - *критерия Пекле*, Pe:

$$Pe = wL/D_l. \tag{4.14}$$

Точные *соотношения* между критерием Pe и *моментами распределения* зависят от условий на границах исследуемых объектов. Для "закрытых сосудов", т.е. аппаратов, в которых точки ввода трассера и отбора *проб* совпадают с границами аппарата, это соотношение имеет следующий вид [35]:

$$s^2(\theta) = 2\frac{D_l}{wL} - 2\left(\frac{D_l}{wL}\right)^2 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{wL}{D_l}\right)\right). \tag{4.15}$$

При значении Pe>10 формула (4.15) упрощается:

$$s^2(\theta) = 2\frac{D_l}{wL}, \tag{4.16}$$

а при вводе трассера в поток жидкости до входа в аппарат существенно усложняется. Двухпараметрическая диффузионная модель наряду с обратным перемешиванием учитывает и перемещения частиц потока в радиальном направлении (рис.26).

Уравнение двухпараметрической диффузионной модели [21, 22, 23, 24, 27]:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w\frac{\partial c}{\partial l} + D_l\frac{\partial^2 c}{\partial l^2} + D_r\frac{\partial^2 c}{\partial r^2}, \tag{4.17}$$

где $\partial c/\partial \tau$ - скорость изменения *концентрации* вещества (трассера) на выходе из проточного аппарата, $\partial c/\partial l$ - *градиент* концентрации в осе-

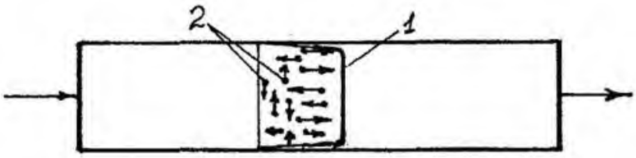

Рис.26. Диффузионная модель вытеснения с продольным и поперечным перемешиванием: 1 - интегральный профиль скоростей частиц; 2 - частицы, векторы скоростей которых направлены в поперечном направлении

вом направлении, l - *координата* длины, w - средняя скорость потока. D_l - *коэффициент* продольной диффузии (продольного перемешивания), D_r - коэффициент поперечной (*радиальной*) диффузии (поперечного перемешивания), обычно представляемый в виде критерия Пекле радиального:

$$Pe_r = \frac{wL}{D_r}, \tag{4.18}$$

где L - определяющий размер канала.

4.5. Комбинированные модели

В большинстве случаев *гидродинамика* реального *аппарата* достаточно сложна, и описать ее при помощи рассмотренных выше *моделей* не удается. Это наблюдается, в частности, при наличии в аппарате застойных зон, байпасных и циркуляционных *потоков*, струйного течения. В таких случаях реальный аппарат рассматривается как *совокупность* отдельных зон, соединенных последовательно или параллельно, причем в каждой зоне устанавливается типовой гидродинамический режим. Наряду с зонами типовых гидродинамических режимов рассматриваются застойные зоны и локальные потоки - байпасный, циркуляционный, проскальзывание и др.

На рис.27 изображены три гипотетические зоны проточного аппарата, на которые разветвляется поток $\nu_0=\nu_1+\nu_2+\nu_3$. Соответственно, $V_0=V_1+V_2+V_3$, причём V_1 - объём зоны вытеснения с *коэффициентом* продольного перемешивания D_l, V_2 - объём зоны *идеального* перемешивания и V_3 - объём зоны идеального вытеснения. Принимая такую модель, по результатам испытания аппарата *методом* возмущения, необходимо определить пять *параметров*: доли ν_2/ν_0 и ν_3/ν_0, V_2/V_0 и V_3/V_0, *критерий* Pe (доли ν_1 и V_1 находятся по разности). Задача непростая.

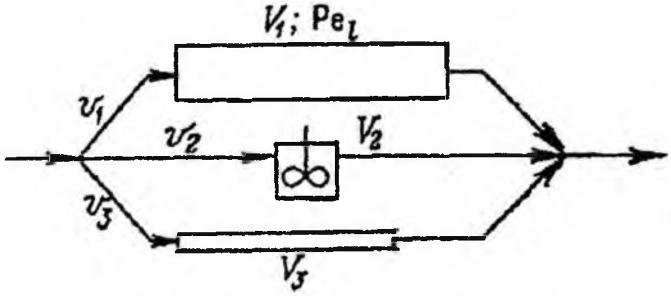

Рис.27. Пример комбинированной модели:
1 - зона вытеснения; 2 - зона смешения; 3 - байпас

С помощью комбинированных или многопараметрических моделей можно описать *процесс* любой сложности, однако следует иметь в виду, что чрезмерное увеличение количества зон усложняет математическое *моделирование*. Поэтому зонами, вносящими незначительный вклад в *структуру потоков*, пренебрегают. *Методы* установления числа зон и *определения* их параметров описаны в литературе [21, 22, 23, 27].

4.6. Детерминистичность моделей структуры потоков

Рассмотренные модели *структуры потоков* достаточно полно характеризуют особенности течения жидкости в *технологических* аппаратах. Так, *идеальные модели* смешения (4.4), (4.5) и вытеснения (4.9) не содержат в себе *параметров*, требующих специального *определения*. Эти модели самодаточны по *существу*, т.е. *детерминистические*. Реальные модели - ячеечная (4.10), (4.11), *диффузионные* - однопараметрическая (4.13) и двухпараметрическая (4.17) - *структурные* (детерминистические) по существу, по процедуре их вывода. Их недостаток в отсутствии универсальности - параметры этих моделей - *коэффициенты* продольной, D_l, и поперечной (радиальной) диффузии, D_r, зависят от особенностей конкретного аппарата и характеристик жидкости. Их можно определить *статистическим методом* - методом моментов. Таким образом, реальные модели структуры потоков можно классифицировать как модели *детерминированно-стохастические* - с одной стороны, они более или менее *адекватно* описывают *физический процесс* течения жидкости в аппарате, а с другой стороны, для них характерна слабо предсказуемая изменчивость структуры потоков, связанная с начальными и граничными условиями. Так, если изменить скорость потока w, вязкость μ, плотность ρ и т.п., то определяемые в результата *эксперимента параметры* моделей n, D_l, D_r тоже изменятся.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ

5.1 Анализ структуры потоков по результатам испытания импульсным возмущением

Результаты испытания *аппарата* представлены в табл. 1 и на рис. 28 (*экспериментальные* данные О.Левеншпиля).

Таблица 1

Зависимость концентрации трассера от времени при импульсном возмущении

i	01	02	03	04	05	06	07	08
τ, с	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100
$c\cdot 10^7$, кг/м^3	0	849	1415	1415	1132	566	283	0

Требуется построить кривую отклика $C(\theta)$ и определить основные характеристики *структуры потоков* в аппарате.

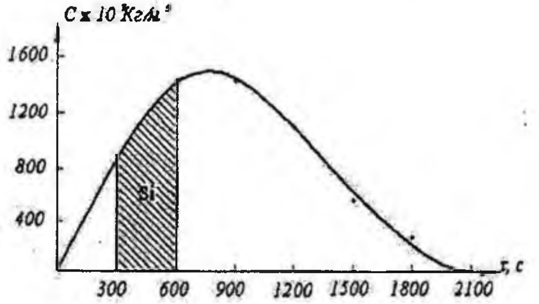

Рис.28. Зависимость концентрации трассера от времени на выходе из проточного аппарата после нанесения импульсного возмущения

Построение *С*-кривой

Вычисление начального *момента* первого порядка или *среднего* времени пребывания выполняем по формуле (3.7):

$$\bar{\tau} = m_1(\tau) = \frac{\frac{1}{2}\sum\limits_{i=1}^{n-1} \bar{c}_i(\tau_{i+1} + \tau_i)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1} \bar{c}_i} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1,0188}{5660\cdot 10^{-7}} = 900 \text{ с.}$$

Вычисляем начальный момент второго порядка по формуле (3.8):

$$m_2(\tau) = \frac{\frac{1}{3}\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i(\tau_{i+1}^2 + \tau_{i+1}\tau_i + \tau_i^2)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i} = 1011602\ \text{с}^2.$$

Вычисление начальных моментов третьего и четвёртого порядков удобно производить по формуле (3.5):

$$m_3(\tau) = \frac{\frac{1}{4}\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i\left(\tau_{i+1}^4 - \tau_i^4\right)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i(\tau_{i+1}-\tau_i)} = \frac{1}{4}\cdot\frac{8802\cdot 10^5}{0,1698} = 1,296\cdot 10^9\ \text{с}^3;$$

$$m_4(\tau) = \frac{\frac{1}{5}\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i\left(\tau_{i+1}^5 - \tau_i^5\right)}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i(\tau_{i+1}-\tau_i)} = \frac{1}{5}\cdot\frac{15466\cdot 10^8}{0,1698} = 1,8217\cdot 10^{12}\ \text{с}^4.$$

Вычисляем *безразмерную концентрацию* $C(\tau)$ по формуле:

$$C(\tau) = \frac{c_i}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i(\tau_{i+1}-\tau_i)} = \frac{c_i}{\sum\limits_{i=1}^{n-1}\bar{c}_i\Delta\tau},$$

результаты вычислений заносим в табл.2.

Вычисляем *параметрическую* концентрацию $C(\theta)$ по формуле (3.12) и параметрическое время по формуле:

$$\theta_i = \frac{\tau_i}{\bar{\tau}}.$$

Результаты вычислений заносим в табл.2 и строим график зависимости $C(\theta)$ (рис.29).

Расчёт характеристик структуры потоков в аппарате

Осуществим *приведение* начальных *моментов* в параметрические *координаты* по формуле (3.16):

Таблица 2

Зависимость концентрации трассера от времени при импульсном возмущении и результаты расчётов

i	01	02	03	04	05	06	07	08	$\sum_{i=1}^{N}$
τ, с	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	
$c \cdot 10^7$, кг/м^3	0	849	1415	1415	1132	566	283	0	
$\bar{c}_i \cdot 10^7$, кг/м^3	425	1132	1415	1274	849	425	142	0	5660
$\bar{c}_i(\tau_i+\tau_{i+1}) \cdot 10^4$	127	1019	2123	2674	2292	1401	552	–	10188
$\bar{c}_i(\tau_{i+1}^2+\tau_{i+1}\tau_i+\tau_i^2)$	3.82	71.3	242	424	466	348	162	–	1717
$\bar{c}_i(\tau_{i+1}-\tau_i) \cdot 10^5$	1274	3396	4245	3821	2547	1274	425	–	16980
$\bar{c}_i(\tau_{i+1}^4-\tau_i^4) \cdot 10^{-5}$	3.44	138	745	1805	2538	2307	1267	–	8802
$\bar{c}_i(\tau_{i+1}^5-\tau_i^5) \cdot 10^{-8}$	1.03	85.3	726	2417	4435	4798	3105	–	15466
$C(\tau)_i \cdot 10^3$	0	0.5	0.83	0.83	0.67	0.33	0.17		
$C(\theta)_i$	0	0.45	0.75	0.75	0.60	0.3	0.15		
θ	0	1/3	2/3	1.0	4/3	5/3	2.0	7/3	

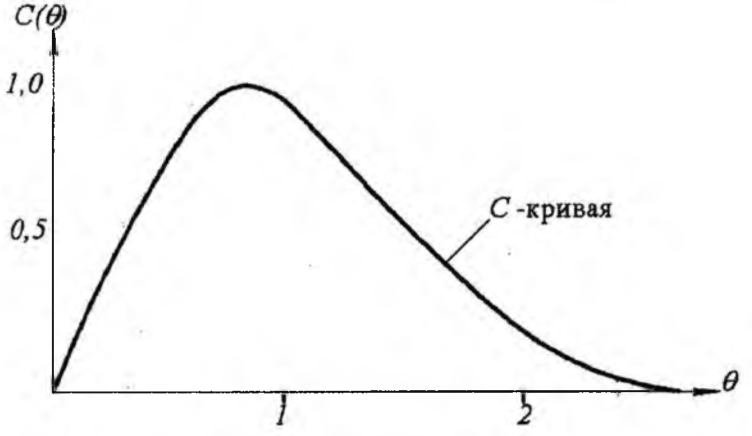

Рис.29. Кривая отклика проточного аппарата на импульсное возмущение в параметрических координатах C–θ

$$m_2(\theta) = \frac{m_2(\tau)}{\bar{\tau}^2} = \frac{1011602}{900^2} = 1,249;$$

$$m_3(\theta) = \frac{m_3(\tau)}{\bar{\tau}^3} = \frac{1,296\cdot 10^9}{900^3} = 1,778;$$

$$m_4(\theta) = \frac{m_4(\tau)}{\bar{\tau}^4} = \frac{1,8217\cdot 10^{12}}{900^4} = 2,777.$$

Вычисляем дисперсию $s^2(\tau)$ по формуле (3.20):

$$s^2(\tau) = \mu_2(\tau) = m_2(\tau) - \bar{\tau}^2 = 201602\ \text{с}^2.$$

Стандартное отклонение переменной равно:

$$s(\tau) = \pm\sqrt{s^2(\tau)} = 449\ \text{с}.$$

Вычисляем *дисперсию* $s^2(\theta)$ по формуле (3.26):

$$s^2(\theta) = \mu_2(\theta) = \frac{\mu_2(\tau)}{\bar{\tau}^2} = \frac{201602}{900^2} = 0,249.$$

Вычисляем третий центральный момент, характеризующий скошенность или *асимметрию распределения* по формулам (3.22) и (2.26):

$$\mu_3(\tau) = m_3(\tau) - 3m_2(\tau)\bar{\tau} + 2\bar{\tau}^3 = 2,43\cdot 10^7\ \text{с}^3;$$

$$A_x = \frac{\mu_3(\tau)}{s^3(\tau)} = \frac{2,43 \cdot 10^7}{449^3} = +0,268.$$

Очевидно, что *коэффициент* асимметрии, будучи *безразмерной* характеристикой, не зависит от того, приведены ли моменты μ_3 и s^2 в *параметрические координаты:*

$$\mu_3(\theta) = \frac{\mu_3(\tau)}{\bar{\tau}^3} = \frac{2,43 \cdot 10^7}{900^3} = 0,0333;$$

$$A_x = \frac{\mu_3(\theta)}{s^3(\theta)} = \frac{0,0333}{0,499^3} = +0,268.$$

Вычисляем четвёртый центральный момент и *эксцесс* по формулам (3.23) и (2.28):

$$\mu_4(\tau) = m_4(\tau) - 4m_3(\tau)\bar{\tau} + 6m_2(\tau)\bar{\tau}^2 - 3\bar{\tau}^4 = 1,0416 \cdot 10^{11}\ \text{c}^4;$$

$$E_x = \frac{\mu_4(\tau)}{s^4(\tau)} - 3 = \frac{1,0416 \cdot 10^{11}}{201602^2} - 3 = -0,4373;$$

$$\mu_4(\theta) = \frac{\mu_4(\tau)}{\bar{\tau}^4} = \frac{1,0416 \cdot 10^{11}}{900^4} = 0,1588;$$

$$E_x = \frac{\mu_4(\theta)}{s^4(\theta)} - 3 = \frac{0,1588}{0,249^2} - 3 = -0,4396.$$

Определение числа ячеек ячеечной модели

Если принять для исследованного аппарата ячеечную *модель,* то число ячеек можно определить из второго центрального *момента* по формуле:

$$n = \frac{1}{\mu_2(\theta)} = \frac{1}{s^2(\theta)} = \frac{1}{0,248} = 4,03 \approx 4.$$

Таким образом, *гидродинамический* режим испытанного аппарата будет хорошо описываться ячеечной моделью с числом ячеек n=4.

$$
\begin{cases}
\dfrac{dc_1}{d\tau} = \dfrac{4}{\bar{\tau}}\,(c_0 - c_1), \\[2ex]
\dfrac{dc_2}{d\tau} = \dfrac{4}{\bar{\tau}}\,(c_1 - c_2), \\[2ex]
\dfrac{dc_3}{d\tau} = \dfrac{4}{\bar{\tau}}\,(c_2 - c_3), \\[2ex]
\dfrac{dc_4}{d\tau} = \dfrac{4}{\bar{\tau}}\,(c_3 - c_4).
\end{cases}
$$

Система из четырёх дифференциальных уравнений будет реальной математической моделью испытанного аппарата.

Определение коэффициента продольного перемешивания

Если принять для исследованного аппарата *диффузионную* однопараметрическую *модель*, то

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w\,\frac{\partial c}{\partial l} + D_1\,\frac{\partial^2 c}{\partial l^2}.$$

В зависимости от типа объекта выбирается формула для расчёта *коэффициента* продольной диффузии D_1. Для закрытых сосудов границы аппарата совпадают с точками ввода *трассера* и точками отбора проб для измерения его *концентрации*. Формула, связывающая дисперсию *параметрической* концентрации и *критерий Пекле*, имеет следующий вид [35]:

$$s^2(\theta) = 2\frac{D_1}{wL} - 2\left(\frac{D_1}{wL}\right)^2 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{wL}{D_1}\right)\right).$$

Отбрасывая второй член правой части уравнения, найдём первое приближение:

$$\frac{D_1}{wL} = \frac{s^2(\theta)}{2} = \frac{0,249}{2} = 0,124.$$

Подставим значение первого приближения D_1/wL=0,124 в уравнение (4.15), получим:

$$0,249=2\cdot 0,124-2\cdot 0,124^2\cdot\left(1-\exp\left(-8,065\right)\right)=0,2173.$$

Очевидно, что тождества нет; примем второе приближение $D_1/wL=0,135$ и вновь подставим его в уравнение (4.15):

$$0,249=2\cdot 0,135-2\cdot 0,135^2\cdot\left(1-\exp\left(-7,407\right)\right)=0,2336.$$

Продолжая, методом постепенного приближения получим:

$$\frac{D_1}{wL}=0,145,\quad \text{откуда}\quad \mathrm{Pe}=\frac{wL}{D_1}=6,9.$$

Критерий Пекле для данной кривой распределения трассера указывает на то, что исследованному объекту соответствует модель, промежуточная между моделью идеального смешения и идеального вытеснения.

$$\frac{\partial c}{\partial \tau}=-w\frac{\partial c}{\partial l}+\frac{wL}{6,9}\cdot\frac{\partial^2 c}{\partial l^2}.$$

Последнее дифференциальное уравнение в частных производных также будет реальной математической моделью испытанного аппарата, где L - определяющий геометрический размер канала, w - скорость потока.

5.2. Анализ структуры потоков по результатам испытания ступенчатым возмущением

Аппарат, рассмотренный в примере 5.1, испытан ступенчатым вводом трассера. Концентрация трассера во входном потоке равна $1887\cdot 10^{-7}$ кг/м^3. Результаты испытания представлены в табл.3 и на рис.30.

Построение F-кривой

Вычисляем значение функции F_1 по формуле (2.14), результаты заносим в табл.3. По результатам расчётов строим интегральную кривую в координатах F-θ (рис.31)

Вычисляем значение выражения $\{(1-F_1)+(1-F_{1+1})\}$; результаты заносим в табл.3.

Вычисляем начальный момент первого порядка или среднее время пребывания по формуле (3.28):

$$\bar{\tau} = m_1(\tau) = \sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{(1-F_i)+(1-F_{i+1})}{2}\right\}\cdot\Delta\tau = \frac{300}{2}\cdot 6 = 900 \text{ с.}$$

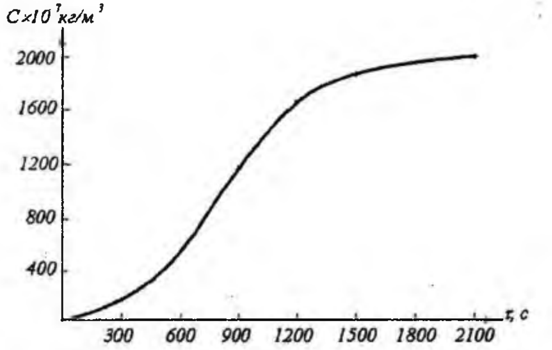

Рис.30. Зависимость концентрации трассера от времени на выходе из проточного аппарата после ступенчатого возмущения

Таблица 3

Зависимость концентрации трассера от времени при ступенчатом возмущении и результаты расчётов

i	01	02	03	04	05	06	07	08	$\sum_{1=1}^{N}$
τ, с	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	
$c\cdot 10^7$, кг/м^3	0	142	519	991	1415	1698	1840	1887	-
F	0	0,08	0,28	0,53	0,75	0,90	0,98	1,0	-
$1-F$	1,0	0,93	0,73	0,48	0,25	0,1	0,03	0	-
$\tau_i\cdot(1-F_i)$	0	278	435	428	300	150	45	0	1636
$(1-F_i)+(1-F_{i+1})$	1,93	1,65	1,20	0,73	0,35	0,13	0,03	0	6,0
$(\tau_i+\tau_{i+1})$	300	900	1500	2100	2700	3300	3900	-	-

Вычисляем начальные моменты высших порядков:

$$m_2(\tau) = 2\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{\tau_i + \tau_{i+1}}{2}\right)\left\{\frac{(1-F_i)+(1-F_{i+1})}{2}\right\}\cdot\Delta\tau =$$

$$= \frac{300}{2} \cdot 6448 = 1026000 \text{ c}^2;$$

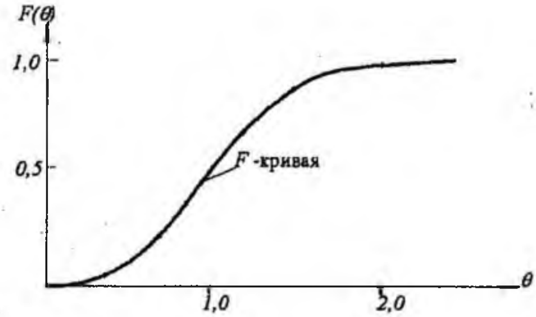

Рис.31. Кривая отклика проточного аппарата на ступенчатое возмущение в параметрических координатах $F-\theta$

$$m_3(\tau) = 3\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{\tau_i + \tau_{i+1}}{2}\right)^2\left\{\frac{(1-F_i)+(1-F_{i+1})}{2}\right\}\cdot\Delta\tau =$$

$$= 3\,\frac{300}{8}\cdot 11700000 = 1316250000 \text{ c}^3.$$

Расчёт центральных моментов производится аналогично предыдущему примеру.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОНЯТИЙ И ТЕРМИНОВ

Для облегчения понимания приложения метода моментов к решению задач подготовки и транспорта нефти и газа ниже приведены определения некоторых специальных понятий, математических терминов, а также определения общенаучных понятий, терминов и философских категорий. Все определения имеют отдельные статьи с этимологическим происхождением, толкованием и достаточно подробным описанием (в тексте выделены курсивом). Этимологическое происхождение при первом чтении можно пропускать. При цитировании словаря В.И.Даля по возможности сохранена орфография 19 в., купюры автора. Цитирование словаря В.И.Даля произведено исключительно с методической целью, и толкования В.И.Даля следует воспринимать не изолированно, а в контексте определений соответствующих понятий и терминов.

Термин (как, впрочем, и любое слово человеческое) подобен точке на границе, условно разделяющей мир постигнутый и непознанный. Поэтому иногда термин нас ***подводит***: с одной стороны ***ведёт*** к проблеме или новой области знания, а с другой - пугает, ***уводит*** прочь. О том, что термин нас ***подвёл***, мы узнаём лишь *post factum*...

А

Адекватность (*франц.* adequat - адекватный < *лат.* adaequatus - соответственный, тождественный, приравненный, равный; *лат.* adaequo - сравнивать, уравнивать) - соответствие, соразмерность, верность, точность, полное соответствие *физической* или *мысленной модели* исследуемому предмету. В теории познания *термин* "адекватность" служит для обозначения верного воспроизведения объективных связей и *отношений* действительности в представлениях, понятиях и суждениях. В этом смысле *истина* определяется как адекватность мышления бытию. "Здравый смысл - это инстинктивное чувство истины" (*Макс Жакоб*; 1876-1944).

Анализ (< *франц.* analyse < *лат.* analysis < *греч.* **αναλυσιζ** - разложение, растворение. *М.Фасмер*; (1886-1962). [85]; **αναλυσιζ** - разрушение, освобождение от чего: **[illegible]**; смерть. *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - *метод* исследования, заключающийся в том, что исследуемый объект (субъект, *система*) расчленяется на составные *части*, *элементы,* каждый из которых затем исследуется в отдельности как часть расчленённого целого. Анализ может осуществляться *физически* и *мысленно,* как логический приём.

Выделенные в процессе физического анализа характеристики элементов обогащают человека новым знанием, с последующей сборкой объекта, системы или реконструкцией. Например, для ребёнка совершенно естественно стремление разобрать игрушку на составные части, изучить их и попытаться собрать. Известно, что с возрастом это стремление ослабевает и пожившие люди, тоже совершенно естественно, физический анализ заменяют мысленным.

Мысленный анализ - логический приём, метод исследования, при котором объект (субъект, система) в процессе *мысленного моделирования* разделяется на составные элементы, с которыми, в зависимости от *сущности* объекта, осуществляются те или иные интеллектуальные процедуры. Выделенные и исследованные в процессе интеллектуальных процедур элементы далее мысленно соединяются в целое, обогащённым новым знанием, с помощью другого логического приёма - *синтеза.* Анализ и синтез неразрывно связаны в интеллектуальном процессе, являются неотъемлемой частью мысленного моделирования. Более того, аналитико-синтетическая деятельность головного мозга является физиологической основой деятельности человека.

Другие виды анализа: математический (дисперсионный, корреляционный и т.д.), химический, рентгеноструктурный, фазовый, термометрический, микроскопический и т.д.

Термины "анализ" и "синтез" ввёл Платон (**Πλατων**; 428 или 427 до Р.Х.- 348 или 347 до Р.Х.). См. также *Моделирование мысленное, Мысленная модель, Мысленный эксперимент.*

Апостериори (*нем.* a posteriori < *лат.* a posteriori - *букв.* из последующего (a - из, posterior - следующий, последующий, ближайший)) - на основании опыта, исходя из фактических данных. Более поздний, апостериорный: cognitio a posteriori познание "ab effectibus ad causas", *впосл.* "ex phaenomenis" из явлений, т.е. на основании опыта. Противоп. *Априори.*

Аппарат (< *лат.* apparatus - снаряжение, оборудование, орудия, принадлежности) - прибор, приспособление, техническое устройство, часть оборудования цеха, лаборатории, установки. Например, теплообменный, массообменный аппарат, химический реактор и т.д. См. также *Процесс.*

Априори (*лат.* a priori, букв. - из предшествующего (a - от, prior - первый)) - умозрительно, без учёта фактов. Познание "ex causis ad effectum", т.е. (познание) из "чистых" понятий; *впоследствии* "ex notionibus", т.е. *следовательно* независимо от опыта. Противоп. *Апостериори.*

Арифметико-геометрическое среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение.*

Арифметическое взвешенное среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-9).

Арифметическое среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-8).

Асимметрии коэффициент, ассиметрии (допустимо) **коэффициент** (< *греч.* α - не и συμμετρια - соразмерность, надлежащая пропорция, **симметрия**; ασυμμετρια - недостаток соразмерности) - наиболее употребительная *мера* асимметрии *распределения*, определяемая соотношением:

$$A_x = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}, \qquad \text{(A-1)}$$

где μ_2 и μ_3 - центральные моменты 2-го и 3-го порядков, соответственно. Асимметрии коэффициент характеризует скошенность или асимметрию распределения. Для распределений, симметричных относительно *математического ожидания* A_x=0. В зависимости от знака A_x говорят о распределении с положительной асимметрией (A_x>0) и с отрицательной асимметрией (A_x<0). Для *нормального распределения* A_x=0 (см. рис.14). См. также *Симметрия.*

Асимметричность (< *греч.* α - не и συμμετρια - соразмерность, надлежащая пропорция, **симметрия**; ασυμμετρια - недостаток соразмерности) - асимметричное *отношение* (см. рис.14). См. также *Симметрия.*

Асимметрия распределения, ассиметрия (допустимо) **распределения** (< *греч.* α - не и συμμετρια - соразмерность, надлежащая пропорция, **симметрия**; ασυμμετρια - недостаток соразмерности) - качественное свойство кривой распределения, указывающее на отсутствие симметрии распределения. Асимметрия распределения положительна (отрицательна), если *асимметрии коэффициент* положителен (отрицателен). При положительной (отрицательной) асимметрии распределения более "длинная" часть кривой лежит правее (левее) *моды* (см. рис.14). См. также *Симметрия.*

Б

"**БЕЗКОНЕЧНЫЙ**, беспредельный, безграничный, безрубежный, неизмеримый, нескончаемый, вечный по времени или пространству. (...) || Чрезмерно великiй, по размерамъ своимъ, необычайно большой или продолжительный. (...) *Безконечная величина* матем. несоизмеримая ни съ какою величиной; не выражаемая никакою цыфрою, числомъ. Сравнительно съ *безконечно великою*, всякая данная величина ничтожна, а *безконечно малая*, передъ всякою данною, сама ничтожна. (...) ***Безконечность*** ж. состоянiе, свойство безконечнаго. || в матем. *положительная* и *отрицательная безконечность*, безконечно великое и безконечно малое число." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67]. См. также *Бесконечность*.

Безразмерная физическая величина - *величина*, в размерности которой все показатели степени при обобщённых символах основных *физических величин* равны нулю. Например, все *относительные* физические величины (массовая доля, мольная доля, объёмная доля, относительная плотность, относительная электрическая и магнитная проницаемость, кпд и др.), *параметрические* величины, кодированные переменные в задачах планирования эксперимента, *критерии подобия*, нормированные переменные, *приведённые переменные*, стандартизованные случайные величины, статистические критерии и др.

"Бесконечное - истинная сущность конечного, подлинное конечное" (*Людвиг Фейербах*; 1804-1872).

Бесконечность (*мат.*) - *понятие*, возникающее в различных разделах математики в основном как противопоставление понятию конечного. Понятие бесконечности используется в *аналитических* и геометрических теориях для обозначения "несобственных" или "бесконечно удалённых" *элементов*, в теории *множеств* и математической логике при изучении "бесконечных множеств" и в других разделах математики. В математическом анализе одним из основных является представление о бесконечно малых и бесконечно больших *переменных величинах*, причём бесконечное рассматривается в неразрывной *связи* с конечным: реальный смысл имеет только разложение конечных величин на **неограниченно возрастающее** число **неограниченно убывающих** слагаемых. Мало толку от попытки подсчёта количества точек на небольшом отрезке любой линии (парадокс: в конечном элементе - бесконечное число точек!). Дело в том, что практический интерес представляет не бесконечно малая величина сама по себе, а те случаи, в которых рассмотрение бесконечно малых величин приводит к величинам конечным. Так, *отношения* бесконечно малых величин, лежащие в основе определения производной, приводят к вполне конечным значениям тангенса угла наклона касательной; сумма бесконечно большого числа бесконечно малых (площадок) приводит к конечному значению интеграла (площади под кривой).

Аналогичный характер имеет пополнение *системы* действительных чисел двумя несобственными числами $+\infty$ и $-\infty$, соответствующие многим требованиям математического анализа.

Бесконечность (*фил.*) - философская категория, характеризующая неисчерпаемость материи и *форм* движения, многообразие предметов и *явлений* материального мира, форм и тенденций его развития. Бесконечность как категория - продукт интеллектуальной деятельности человека, пытающегося познать себя и своё место в мире. Человек обречён жить в окружении бесконечности, поскольку бесконечность есть неотъемлемая часть нашего четырёхмерного пространства-времени.

Категория "бесконечность" зародилась более двух тысяч лет назад в *процессе* развития нашей цивилизации. Платон (Πλατων; 428 или 427 до Р.Х. - 348 или 347 до Р.Х.) утверждал, что бесконечность существует только *потенциально*, а не реально, не актуально. Он представлял бесконечность как нечто в движении, которое "становится всегда иным и иным". Аристотель (Ἀριστοτελης; 384-322 до Р.Х.) признавал потенциальную бесконечность, но его интересовала не абстрактная безграничность, а та величина, которую можно познать чувствами. Столетия спустя Джордано Бруно (1548-1600) рассматривал бесконечность неподвижной и актуально существующей. Глубокий философский *анализ* проблемы бесконечности принадлежит Г.Гегелю (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831), который различал истинную (качественную) и "дурную" бесконечность (как безграничное увеличение количества) и связывал бесконечность с развитием. Блез Паскаль (*Pascal Blaise*; 1623-1662) утверждал, что мир есть "бесконечная сфера, центр которой везде, а окружность нигде".

Бесконечность, как и вечность, кажется трансцендентной, непознаваемой категорией. Так, Р.Декарт (*Descartes Rene*; 1596-1650) категорически отказывался вступать в спор о бесконечности, считая свой разум, да и любой другой конечный ум, не достаточным для понимания бесконечности как божественной сути. К этой категории обращались не только учёные, но и писатели, поэты и художники. "Рассказ в рассказе", "картина в картине", "сны во снах" - это всё аллегории бесконечности. Или ещё - бесконечность зеркальных повторов, бесконечность узоров в калейдоскопе при постоянстве бытия стёкол. Математик и философ П.Д.Успенский в одной из своих книг написал: "В самом деле, что такое бесконечность, как её рисует себе обыкновенный ум? Это пропасть, бездна, куда падает наш ум, поднявшись на высоту, на которой он не может удержаться". См. также *БЕЗКОНЕЧНЫЙ*.

В

Величина - именованное число, отвлечённое число (действительное или комплексное), несколько чисел (точка пространства) и вообще элемент любого *множества* (в самом широком смысле). Величина - одно из основных математических *понятий*, смысл которого с развитием математики неоднократно уточнялся и обобщался.

1. Ещё в "Началах" Евклида (III в. до Р.Х.) были отчётливо сформулированы свойства величины, называемые теперь для отличия от дальнейших обобщений положительными скалярными величинами. Это первоначальное понятие величины является непосредственным обобщением более конкретных понятий: длины, площади, объёма, массы и т.п.

2. Рассмотрение скоростей, могущих иметь два противоположных направления, ускорений и т.п. величин естественно приводит к включению в *систему* величин нуля и отрицательной величины.

3. В более общем смысле величиной называются векторы, тензоры и т.п.

4. Действительные числа принято называть величинами, поскольку они обладают всеми свойствами скалярных величин.

5. Переменные величины, количественно характеризующие *процессы*, свойства *системы* тел и *явления*, по существу являются числами, входящими в понятие величины (аналогично, переменные векторы, тензоры и т.п.).

6. "*Случайные величины*" тоже входят в понятие "величина" на том основании, что результаты *наблюдений* и *экспериментов* в большинстве случаев являются числами и числами *случайными*.

Величина параметрическая - общее название *физических величин*, приведённых к *безразмерному* виду путём того или иного *соотношения* с *параметром*. Параметрические величины получаются в результате *нормирования переменных* и *приведения переменных*. Если параметрические величины образуют *систему* координат, то последнюю называют параметрической системой координат. См. также *Нормализация*.

Величина физическая - характеристика физических тел (*системы* тел), процессов, *явлений* материального мира, общая для *множества* объектов или явлений в качественном отношении, но в отношении количества конкретная не только для каждого из них, но и для каждого элемента системы. Примерами физических величин являются различные *коэффициенты* (диффузии, проницаемости, фильтрации, динамической вязкости, кинематической вязкости, пластической вязкости, гидравлического сопротивления и многие др.), *параметры* состава (*концентрации* объёмная массовая, объёмная мольная, массовые и мольные доли компонентов), характеристики веществ (плотность, удельный вес и др.), параметры *состояния* (давление, температура, энергия Гельмгольца, энергия Гиббса, энтальпия, энтропия), параметры *процесса* (массовый расход, температура, давление, время, скорость и др.), геометрические характеристики (объём, длина, высота, радиус, площадь и т.п.), а также работа, ускорение, сила, масса, вес тела, ускорение силы тяжести и т.д. Физические величины могут быть размерными и *безразмерными*. В большинстве физические величины - числа действительные (вещественные).

В пределах системы физические величины могут изменяться и во времени, и в пространстве. Например, параметры процесса бурения - механическая скорость бурения, нагрузка на инструмент и скорость его вращения, искривление траектории, температура в забойной зоне, расход и параметры промывочной жидкости и др. - являются одновременно *физическими величинами*, *переменными*, *случайными* величинами и, наконец, ***величинами***. Физическая величина - *понятие* менее ёмкое по значению, чем *величина*, но более конкретное. Практически все физические величины, определяемые с помощью тех или иных измерительных приборов, являются случайными величинами.

Вероятностей теория - *математическая* теория, позволяющая по *вероятностям* одних *случайных событий*, *явлений* находить вероятности других случайных событий, *связанных* каким-либо образом с первыми.

Утверждение о том, что какое-либо событие наступает с вероятностью, равной, например, 1/2, ещё не представляет само по себе окончательной ценности, ну разве что при розыгрыше. Практическую познавательную ценность имеют те результаты теории вероятностей, которые позволяют утверждать, что вероятность наступления какого-либо события *B* весьма близка к единице или (что то же самое) вероятность ненаступления события *B* весьма мала. В соответствии с принципом "пренебрежения достаточно малыми вероятностями" такое событие справедливо считают практически достоверным. Такого рода выводы, имеющие научный и практический интерес, обычно основаны на допущении, что наступление или ненаступление события *B* зависит от большого числа случайных, мало связанных друг с другом *факторов*. Поэтому можно сказать, что теория вероятностей есть математическая наука, выясняющая закономерности, которые возникают при взаимодействии большого числа случайных факторов.

Предметом теории вероятности является изучение свойств вероятностей событий, являющихся результатом некоторого *множества* воздействий, на основе достаточно простых соотношений. Подразумевается, что при условиях *S* событие *B* имеет определённую вероятность $P(B|S)$, равную p (случайная или *стохастическая* реакция *системы* на совокупность условий *S*). Это означает, что почти в каждой достаточно длинной серии испытаний n частота n_1/n события *B* приблизительно равна p_1. Например, при бурении в неустойчивых горных породах прихват может произойти, а может и не произойти. Практическую ценность будет иметь связь вероятности прихвата от конкретных условий (способа бурения, литологии разрезов, диаметров скважины и бурильной колонны, свойств бурового раствора, состояния фильтрационной корки и др. Такие статистические модели описаны в литературе.

В *детерминированных процессах* состояние системы в момент времени τ_0 однозначно определяет ход процесса в будущем - τ_1, $\tau_2, \ldots,$ τ_1. Этим предмет теории вероятностей отличается от *детерминированных* реакций систем на совокупность условий *S*: при каждом осуществлении условий *S* наступает или не наступает событие *B* (однозначная реакция). Например, все законы классической механики, физики, химии и др.

Источником теории вероятностей явился интерес математиков к азартным играм, в частности, труды Б.Паскаля (*Pascal Blaise*; 1623-1662), П.Ферма (*Fermat Pierre*; 1601-1665) и Х.Гюйгенса (*Huygens Christian*; 1629-1695) в XVII в. по теории азартных игр.

См. также *Вероятность*, *Вероятность классическая* (*априорная*), *Вероятность математическая*, *Вероятность статистическая* (*апостериорная*), *Вероятный*, *Статистика математическая*, *Совокупность*, *СОВОКУПЛЯТЬ*, *Частота случайного события*.

"Вероятность - это придуманная нами величина, оценивающая возможность придуманного нами события". (*Виктор Кротов*; р.1946).

Вероятность (*лат.* probabilitas - правдоподобие, вероятность) - числовая характеристика степени возможности наступления какого-либо определённого *события* в тех или иных определённых, могущих повториться неограниченное число раз условиях. Вероятность отражает особый тип *связей* между *явлениями*, характерных для массовых *процессов*. Обычно численное значение вероятности находится с помощью определения вероятности: вероятность равна отношению числа исходов, n_1, "благоприятствующих" данному *событию*, к общему числу "равновозможных" исходов, n. *Связь* вероятности p_1 с *частотой* события $h_1=n_1/n$ достаточно сложна и зависит от общего числа испытаний n. Чем больше число n, тем реже встречаются сколько-либо значительные отклонения частоты n_1/n от вероятности p_1. В соответствии с этим, отчасти неточным, частотным определением вероятности, вероятность осуществления события B будет пределом:

$$P(B)=\lim_{n\to\infty}\frac{n_1}{n}. \qquad (B-1)$$

Таким образом, каждому событию B соответствует некоторое неотрицательное число - его вероятность:

$$0 \leqslant P(B) \leqslant 1, \qquad (B-2)$$

причём для невозможного события $P(H)=0$, для достоверного $P(D)=1$. В соответствии с этими аксиомами падение подброшенной монеты на землю является достоверным событием, её "взлёт" - невозможное событие, а вероятности выпадения "герба" или "решки" - по 1/2, соответственно (предполагается, что идеальная монета не имеет флуктуаций плотности по объёму, имеет одинаковую толщину и радиус и не может встать на ребро). Другими словами, результат падения монеты (и не только монеты...) - *случайная величина*. См. также *Вероятность классическая* (*априорная*), *Вероятность математическая*, *Вероятность статистическая* (*апостериорная*), *Вероятный*.

Вероятность классическая (*априорная*) - *отношение* числа исходов, ν_1, "благоприятствующих" некоторому *событию* B, к общему числу "равновозможных" исходов ν*:

$$P(B)=\hat{p}_1= \frac{\nu_1}{\nu}. \qquad (B-3)$$

Это определение вероятности, ставшее позже классическим, принадлежит Я.Бернулли (*Jacob Bernoulli*; 1654-1705) , хотя сам Я.Бернулли не использовал его при доказательстве *закона* больших чисел: "Вероятность же есть степень достоверности и отличается от неё как часть от целого. Именно, если полная и безусловная достоверность, обозначаемая нами буквой α или единицей 1, будет, для примера, предположена состоящей из пяти вероятностей, как бы частей, из которых три благоприятствуют существованию или осуществлению какого-либо события, остальные же не благоприятствуют, то будет говориться, что это событие имеет $3/5\alpha$ или 3/5 достоверности".

Примеры исчисления вероятности классической. Результат бросания идеальной игральной кости - число очков от одного до шести, а поскольку каждая грань может открыться с одинаковой вероятностью, то и вероятность любого результата равна 1/6. Результаты бросания двух игральных костей принципиально отличны. Поскольку кости падают независимо друг от друга, число очков, например, 5 может выпасть в результате четырёх равновозможных комбинаций, - (1+4), (2+3), (3+2), (4+1), а всего возможно 36 комбинаций. Таким образом, вероятность выпадения 5 очков равна 4/36. Очевидно, что вероятность классическую можно назвать вероятностью a priori. Дело в том, что вероятность классическую можно вычислить в редких случаях, в частности, для игр, азартных и не очень. В древности изобретатели игр продумали содержание игр так, чтобы были точно "известны числа случаев, влекущих выигрыш или проигрыш, а сами случаи могли бы встретиться одинаково легко. В большинстве же других явлений, зависящих или от действий сил естественных, или от свободной воли людей, не имеет места ни то, ни другое" (*Якоб Бернулли*; 1654-1705). Точное (значит - бесспорное) число случаев выигрыша и проигрыша возможно только при использовании целых чисел; отчасти по этой причине нет

---

*Примечание. Принцип равновозможности применялся в различных культурах с глубокой древности как в философии, так и в практической деятельности людей - распределение материальных и *природных* ресурсов, повинностей, должностей и т.п. по жребию. В настоящее время в различных численных процедурах используются генераторы случайных чисел, выдающие, как правило, *нормированную*, равномерно распределённую случайную величину.

азартных игр, результаты которых выражались бы вещественными числами.

Иногда Якоба Бернулли называют основателем субъективного представления о вероятности, - в гл.2 "Искусства предположений" Я.Бернулли пишет: "Делать о какой-либо вещи* предположения - всё равно, что измерять её вероятность". А в 1685 или 1686 г. в своём дневнике Я.Бернулли упоминал о вероятности как о доле уверенности в контексте задачи о вероятности одному человеку пережить другого.

Необходимо отметить тот факт, что до 1713 г. (года издания рукописи Я.Бернулли "Искусство предположений") определённости в вычислении вероятности не было. Обычно учёные использовали не формулу (В-1), а соотношение шансов "за" и "против", хотя *математическое ожидание* выигрыша, которое служило основным понятием у Б.Паскаля (*Pascal Blaise*; 1623-1662), П.Ферма (*Fermat Pierre*; 1601-1665) и Х.Гюйгенса (*Huygens Christian*; 1629-1695) в простейшем случае сводилось к вероятности (В-1). Б.В.Гнеденко и М.Т.Перес придавали большое значение появлению классического и *статистического* определений вероятностей у Якоба Бернулли. С этого момента началась теория вероятностей.

См. также *Вероятность*, *Вероятность математическая*, *Вероятность статистическая (апостериорная)*, *Вероятный*.

Вероятность математическая - *понятие*, лежащее в основе особого класса закономерностей - *вероятностных* или *статистических* - и являющееся выражением качественно своеобразной *связи* между *случайным* и необходимым. Плодотворность математической вероятности находит своё осуществление в виде некоторого постоянства* *частоты* появления какого-либо результата при многократном повторении однородных условий. Как *категория* научного познания понятие "вероятность" отражает особый тип связей между *явлениями*, характерных для массовых *процессов*. Дело в том, что массовые **случайные** явления в своём *совокупном* проявлении создают **математически строгие закономерности**, выявив которые, можно делать далеко идущие выводы. Во многих сложных ситуациях определение численного значения вероятности *события* или численной оценки надёжности суждения требуют *статистического* подхода.

---

*Примечание: В оригинале на латинском языке "res". Латинское слово "res" имеет много значений. Это не только "вещь" в переводе с латинского, сделанного в 1913 г. приват-доцентом Санкт-Петербургского университета Я.В.Успенским (1883-1947), но и, среди прочего, случай, явление, *событие*, факт.

В случаях *симметричных распределений случайной величины* вероятность p_1 события B является пределом:

$$P(B)=p_1=\lim_{n\to\infty}\frac{n_1}{n}, \qquad (B\text{-}4)$$

где n_1 - число исходов "благоприятствующих" появлению события B, n - общее число "равновозможных" исходов. *Связь* вероятности p_1 с *частотой события* $h_1=n_1/n$ достаточно сложна и зависит от общего числа испытаний n и закона распределения случайного события B. В случае симметричных распределений чем больше число n, тем реже встречаются сколько-либо значительные отклонения частоты n_1/n от вероятности p_1. В соответствии с этим вероятность события B будет, по определению, *нормированной величиной*:

$$0 \leq P(B) \leq 1. \qquad (B\text{-}5)$$

В современной теории вероятностей свойства вероятности формулируются в виде аксиом. Однако ни эти аксиомы, ни классический подход к вероятности, ни статистический подход не дают исчерпывающего описания реального содержания понятия "вероятность", а являются лишь приближениями ко всё более полному его раскрытию. Далеко не всякое событие, наступление которого при данных условиях не является однозначно определённым, имеет при этих условиях определённую вероятность. Предположение, что при данных условиях для данного события вероятность, как вполне определённая *нормальная* доля числа наступления данного события при большом числе повторений данных условий, **существует**, является гипотезой, которая в каждом отдельном вопросе требует специальной проверки или обоснования. Например, при стрельбе бессмысленно говорить о попадании в цель вообще, если об условиях стрельбы ничего не известно.

В житейском сознании вероятности событий часто отождествляют с *частотой*. "Кто хочет знать, что случится, должен обращать внимание на то, что уже случилось" (*Никколо Макиавелли;* 1469-1527). В отождествлении вероятности с частотой большой беды нет, необходимо только иметь в виду, что частота события, в отличие от вероятности,

---

*Примечание: частота события, по существу, - случайная величина, и некоторое постоянство частоты не следует понимать буквально, т.к. частота

$$h_1=n_1/n \to p_1 \text{ при } n\to\infty.$$

является *случайной величиной*. Если n - число повторных испытаний, осуществляющих заданные условия, и n_1 - число испытаний, в которых данное событие наступает, то частота $h_1=n_1/n$, как правило, мало отличается от вероятности p_1. Чем больше число n, тем реже встречаются сколько-нибудь значительные отклонения частоты n_1/n от вероятности p_1.

Наибольший интерес представляют собой вероятности, близкие к 1 или 0. Соответствующие события рассматриваются как "практически достоверные" или "практически невозможные". Этот интерес обусловлен ответом на вопрос, какими вероятностями можно пренебрегать в научных исследованиях и технологии. При предварительных исследованиях рекомендуют пренебрегать вероятностью порядка 0,05, в "обычной" практике экспериментальных исследований приняты *величины* от 0,03 до 0,01, в ответственных случаях "критическая" вероятность составляет величину 0,0027 и даже менее.

См. также *Вероятность*, *Вероятностей теория*, *Вероятность классическая (априорная)*, *Вероятность статистическая (апостериорная)*, *Вероятный*, *Статистика математическая*, *Совокупность*, *Частота случайного события*.

Вероятность статистическая (*апостериорная*) - *вероятность*, равная отношению числа n_1 появлений *случайного события* B при n испытаниях к числу осуществлённых испытаний n:

$$P(B)=p_1=\frac{n_1}{n}. \qquad (B\text{-}6)$$

Отличие формулы (В-6) от (В-3) заключается в том, что n_1 определяются в результате n испытаний, причём $P(B)$ зависит от n. Проблема исчисления вероятностей заключается в том, что в большинстве "явлений, зависящих или от действий сил естественных, или от свободной воли людей", заранее не известны числа случаев, влекущих удачу или неудачу, более того, неизвестно, встретятся сами случаи или нет (*Якоб Бернулли* (*Jacob Bernoulli*; 1654-1705)). Есть некоторая определённость в результатах бросания одной идеальной игральной кости - равновозможность открытия любой из шести граней. Но никакой предварительный расчёт невозможен, если грани кости будут различной *формы* или у неё будет смещён центр тяжести. В рукописи периода 1664-1666 гг. Исаак Ньютон (*Newton Isaac*; 1643-1727) заметил, что "относительная лёгкость" выпадения отдельных граней неправильной игральной кости может быть определена из опыта.

Практическое определение *статистической* (апостериорной) вероятности по формуле (В-6) совершенно естественно возникло в статистике народонаселения и возникло значительно раньше 1686-1690 гг. Якобу Бернулли принадлежит заслуга в формализации *понятий* априорной и апостериорной вероятности. Непосредственный повод для *формализации* понятия статистической вероятности предоставила Я. Бернулли задача о том, насколько вероятнее юноше 20 лет пережить 60-летнего старика, чем старику пережить юношу. По этому поводу в письме Г. В. Лейбницу (1646-1716) Я. Бернулли писал: "Исходя из описанного примера, я начал спрашивать себя, нельзя ли будет узнать то, что нам не известно априорно, хотя бы апостериорно, по исходу большого числа сходных наблюдений...". Также естественно решается вопрос об опасности для человека различных болезней и причин смерти в пользу статистической вероятности, а не вероятности (В-3), ибо только на основании апостериорной вероятности можно "составить предположение о жизни или смерти в будущем". Житейские прогнозы погоды в значительной степени основаны на народных приметах, т. е. на *наблюдениях* и *анализе* процессов (*причинно-следственных связей*) в атмосфере поколений людей. Народные приметы подтверждают то, что массовые **случайные** *явления* в своём *совокупном* проявлении создают **строгие закономерности**. Например, длинные сосульки весной указывают на то, что весна будет холодной и затяжной.

Непосредственное отношение к апостериорной вероятности имеют всем известные "гороскопы". Казалось бы, какая может быть связь между датой рождения человека и характерными признаками его личности? Но древние мудрецы нашли статистически значимые связи между положением солнца, луны, множества других небесных тел в момент рождения и *структурой* личности человека, которые прошли проверку на протяжении не одного тысячелетия. Одна из главных проблем личных и социальных отношений людей - проблема несовместимости, особенно острая в замкнутых пространствах летательных аппаратов и подводных лодок [57]. Попробуем разобраться. В человеке более трёхсот биоритмов, в их основе - структура центральной нервной системы [57]. Можно думать, что амплитуды, периоды и фазы биоритмов определяют разной *природы* совместимость и несовместимость людей. Известно, что идеальный партнёр по знаку противоположен, а несовместимый - соседний, партнёры одного знака через некоторое время расстаются ("от любви до ненависти - один шаг" не про них ли? Возможно, что причиной разрыва является резонанс биоритмов...).

Так вот, архитектоника головного и спинного мозга, структура центральной нервной системы закладываются в первые две-три недели развития плода человека. Можно предположить, что в этот чрезвычайно важный период фон космического излучения производит некоторые изменения в формирующейся центральной нервной системе, изменения нарушающие наследственно предрасположенное. Фон космического излучения изменяется достаточно циклично. Древние мудрецы отмечали циклы - суточные, месячные, сезонные, годичные, двенадцатилетние и шестидесятилетние. Первые четыре проявляют себя в Солнечной системе, а два последних - в более крупных звёздных системах. В основе двух наиболее известных гороскопов три последних цикла. Не следует думать, что невозможно проследить влияние на психотип человека циклов более высокого порядка, оно есть, но жизни одного мудрого человека недостаточно для выявления причинно-следственных связей расположения звёзд в космическом пространстве и психотипом родившегося человека. В отношении последнего автор позволит внести небольшую коррекцию - для преждевременно родившихся необходимо вводить соответствующую поправку, и тогда рекомендации гороскопов в отношении совместимости партнёров будут более успешны.

Каждому человеку ясно, что для предположительного "рассуждения о каком-либо явлении не достаточно взять одно или другое наблюдение, но требуется большой запас наблюдений. Потому-то даже самый ограниченный человек по какому-то природному инстинкту сам собой и без всякого предварительного обучения (что очень удивительно) знает, что чем больше принято во внимание таких наблюдений, тем менее опасность не достичь цели" (*Якоб Бернулли*; 1654-1705). Всё это самым естественным образом всем известно, но в попытках подвести под здравый смысл научное обоснование Я.Бернулли доказал, что экспериментируя можно сколь угодно точно определить неизвестную вероятность события. Позднее его теорему и доказательство С.Д.Пуассон (*Poisson Simeon Denis*; 1781-1840) назвал **законом больших чисел**.

См. также *Вероятность классическая* (*априорная*), *Вероятность математическая*, *Вероятный*.

Вероятный образовано от др.-русск., ст.-слав., букв. "принять веру", "уверовать" (*М.Фасмер*; 1886-1962). Достаточно очевидно, что этимологически *понятие* вероятность включает в себя как надежду на успех, так и сомнение в достижимости цели. См. также *Вероятностей теория*, *Вероятность*, *Вероятность классическая* (*априорная*), *Вероятность математическая*, *Вероятность статистическая* (*апостериорная*).

Взвешенное степенное среднее см. *Середа*, *Среднее*, *среднее значение*, (С-11), (С-12).

"**ВЫБИРАТЬ**, ***выбрать*** что, избирать, брать любое изъ многаго; отбирать что особо; || опоражнивать; || вырубать, вытёсывать или выдалбливать въ длину, вдоль или внутри; || собирать всё, до последняго; || выкраивать, выгадывать изъ чего; (...) ***Выборный***, отборный, самый лучшiй, выбранный; избранный, назначенный куда по выбору общества; (...) ***Выборочный***, относящiйся до выбора, до выборки вещей, не людей. *Выборочная рубка леса*, не сплошная и не порядная, не лесосеками, а где рубятся деревья по выбору, какiе нужны." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

Выборка - *понятие математической статистики,* объединяющее результаты каких-либо однородных *наблюдений*. Выборкой в широком смысле слова называется массив результатов наблюдений X_1, $X_2, \ldots,$ X_n, представляющих собой независимые, одинаково *распределённые случайные величины*. Определённая таким образом выборка называется *случайной,* а её конкретные значения в каждом отдельном случае x_1, $x_2, \ldots,$ x_n - простой выборкой. В узком смысле понятие выборки *связано* с теорией статистического *выборочного метода* и предполагает наличие некоторой конечной *совокупности,* из которой эта выборка извлекается (рассматриваются, например, повторные и бесповторные выборки). С точки зрения исследователя, осуществляющего *экспериментальные* исследования с целью *моделирования процесса,* выборкой будет называться конкретное количество *анализов, опытов,* измерений и т.п., а под совокупностью будет подразумеваться абстрактная бесконечность возможных анализов, опытов, измерений и т.п.

См. также *ВЫБИРАТЬ, Выборка представительная, Выборка случайная, Эмпирическое распределение.*

Выборка представительная - *выборка,* дающая достаточно полное представление об особенностях *совокупности.* См. также *ВЫБИРАТЬ, Выборка случайная, Эмпирическое распределение.*

Выборка случайная - часть *совокупности,* результаты конкретно реализованных *экспериментов,* измерений. См. также *ВЫБИРАТЬ, Выборка, Выборка представительная, Эмпирическое распределение.*

Выборочное распределение см. *Эмпирическое распределение.*

Г

Газ (< *нем.*, *голл.* Gas или *франц.* gas. Искусственное новообразование брюссельского химика И.Б. ван Гельмонта (1577-1644) на основании слова Chaos - "хаос", найденного им у Парацельса. - *М.Фасмер;* (1886-1962). [85]) - фазовое (агрегатное) *состояние* вещества, в котором молекулы (атомы) не *связаны* или слабо связаны между собой межмолекулярными силами притяжения и отталкивания и хаотически движутся, равномерно заполняя весь предоставленный им объём. *Термин* "газ" обычно применяют при температуре вещества выше критической, поскольку в этих условиях фазовые превращения не происходят. Все газы - ньютоновские жидкости. Природа вязкости в газах - молекулярно-кинетическая. С достаточной степенью точности реальные газы можно считать идеальными при состояниях, далёких от областей фазовых превращений. *Частиц* в газах нет. Вязкость газов зависит от температуры, состава и давления. С повышением температуры вязкость газов возрастает в соответствии с уравнением (И-22), влияние состава и давления имеет более сложный характер. Для газов характерно отсутствие постоянства объёма и *формы*.

Гармоническое среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение*, (С-13).

Генеральный (*возм. через польск.* generalny < *лат.* generalis - общий, всеобщий) - общий, всеобщий (*М.Фасмер*, 1886-1962; *В.И.Даль*, 1801-1872). См. также *Совокупность*.

Геометрическое среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение*, (С-14).

Гидравлика (<*греч.* **υδωρ** - вода и *греч.* **αυλοζ** - трубка, дудочка; **αυλων** - место узкое, длинное, трубкообразное; канал, водопровод. - *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - *наука* о равновесии и движении *жидкостей*. В отличие от *гидродинамики* в гидравлике рассматривают в основном одномерное течение, ограничиваясь так называемой внутренней задачей, т.е. движением капельных (несжимаемых) жидкостей в твёрдых границах с *относительно* малыми скоростями (т.е. со скоростями, несоизмеримо меньшими скорости звука). Гидравлика в основном рассматривает *динамику* течения *идеальных жидкостей*, не имеющих вязкого трения. Гидравлика почти не касается вопроса *распределения* силового воздействия на поверхность обтекаемых тел. Гидравлику обычно разделяют на два раздела: *теорию* равновесия и движения жидкостей и практическую гидравлику. Основные разделы практической гидравлики - течение жидкости по трубам, течение жидкости в каналах и реках, истечение жидкости из отверстий и через водосливы, движение в пористых *средах* [52]. Основные уравнения - уравнения Бернулли (*Daniel Bernoulli*; 1700-1782), (И-4), (И-5), (И-6), уравнения *сплошности* (неразрывности) *потока* (И-9), (Л-2), (С-2), (С-3), (С-4), (С-5), (С-6), (С-22) и различные зависимости гидравлического сопротивления течению жидкостей (см., например, (Д-6), (Д-7), (Д-9)).

См. также *Детерминистичность математической модели, Диссипация, Изоморфизм математический, Ламинарное течение, Пограничный слой, Структура потока*.

Гидродинамика (<*греч.* **υδωρ** - вода и *греч.* **δυναμιΧοζ** - могущий, имеющий силу (*позд.*) < **δυναμιζ** - сила, способность, могущество < **δυναμαι** - мочь, быть в состоянии. - *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) -

наука о течении несжимаемых *жидкостей* в каналах различной *формы* (так называемая внутренняя задача гидродинамики) и их воздействии на обтекаемые ими твёрдые тела (внешняя задача гидродинамики). Гидродинамика подразделяется на гидродинамику ньютоновских и неньютоновских жидкостей и частично гидродинамику сжимаемых жидкостей.

См. также *Диссипация, Жидкость, Ламинарное течение, Пограничный слой, Турбулентное течение*. Подробно см., например, [2, 4, 27, 36, 43, 46, 48].

Гидростатика (<*греч.* υδωρ - вода и *греч.* **στατικος** - относящийся к весам или равновесию; **η στατικη** - учение о весах, о равновесии, статика; **στατος** - стоящий или стоячий. - *А.Д.Вейсман;* р.1834 г. [66]) - раздел гидромеханики, изучающий условия и закономерности равновесия *жидкостей* под действием внешних сил. Гидростатика изучает также действие жидкостей на погружённые в них тела и действие жидкостей, помещённых в полые тела. Гидростатика включает два важных *закона* - закон Архимеда и закон Паскаля. См. также *Система, Состояние*.

Градиент (< *лат.* gradiens, *род. падеж* gradientis - шагающий) - *вектор*, показывающий направление наибольшего роста скалярной *функции*. Градиент в некоторой точке направлен по нормали к поверхности (линии) постоянного уровня в этой точке.

Градиент *физической величины* имеет важное значение в процессах переноса количества движения (И-8), переноса теплоты (И-10), переноса массы (И-11), фильтрации (И-12), *диссипации энергии* в *потоке жидкости* (И-14), переноса электрической энергии (И-15). Это фундаментальные и простые *законы природы*: закон вязкого трения Ньютона, закон теплопроводности Фурье, закон *диффузии* Фика, закон фильтрации Дарси, закон диссипация в потоке жидкости, закон плотности тока Ома. Необходимость определения градиентов скоростей *среды*, температуры, *концентраций* летучих и растворённых веществ в *сплошных средах* в природе привела к тому, что практически у всех летающих, бегающих, прыгающих, ползающих и плавающих живых существ по две ноздри и как минимум по два усика (вибриса).

Термин "Градиент" ввёл Дж. Максвелл (*Maxwell James Clerk*; 1831-1879) в 1873 г.; ему же принадлежит *обозначение* "grad".

Д

"Детерминизм - идея, что сумма сил даёт лишь одну определённую равнодействующую" (*Александр Круглов*; р.1954).

Детерминизм (<*лат.* determino - ограничивать, определять, устанавливать) - философское учение об объективной закономерной взаимосвязи и взаимозависимости *явлений* материального и духовного мира. Центральным ядром детерминизма является положение о существовании *причинности*, т.е. такой *связи* явлений, в которой одно явление (*причина*) при вполне определённых условиях с необходимостью порождает, производит другое явление (*следствие*).

Современный детерминизм предполагает наличие разнообразных, объективно существующих *форм* взаимосвязи явлений, многие из которых выражаются в виде *соотношений*, не имеющих непосредственно причинного характера, т.е. прямо не содержащих в себе моментов порождения, производства одного другим. Сюда входят пространственные и временные корреляции, *функциональные* зависимости, отношения *симметрии* и тому подобное. Особенно важными в современной науке оказываются вероятностные соотношения, формулируемые на языке статистических *распределений* и статистических законов. Однако все формы реальных взаимосвязей явлений в конечном итоге складываются на основе всеобще действующей причинности, вне которой не существует ни одно явление действительности, в т.ч. и такие события (называемые *случайными*), в совокупности которых выявляются статистические законы.

См. также *Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование физическое, Модель, Модель математическая, Мысленная модель, Мысленный эксперимент, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Сущность, Явление.*

Детерминированно-стохастический процесс - *процесс*, течение которого обусловлено *физическими причинно-следственными связями*, с одной стороны, и *множеством случайных* воздействий, с другой стороны. Течение детерминированно-стохастического процесса может быть различным в зависимости от случая, для него существует *вероятность* того или иного течения.

Примером детерминированно-стохастического процесса может быть проводка скважины - с одной стороны, процесс проводки скважины определяется вполне объективными *факторами*: прочностью породы, характеристикой долота, нагрузкой, скоростью вращения инструмента и т.д., а с другой стороны, осложняется множеством случайных факторов: флуктуаций вращения инструмента и нагрузки на него, твёрдыми включениями в пласт и различными углами встречи с ними и т.д. Примером детерминированно-стохастического процесса также могут быть гонки на автомобилях, мотоциклах и т.д., - каждый участник которой каждый круг проходит по разным (случайным, по существу) траекториям и с разными скоростями. Жизнь человека (и не только человека) - детерминированно-стохастический процесс.

См. также *Детерминизм*, *Детерминированный процесс*, *Детерминистичность математической модели*, *Модель детерминированно-стохастическая структуры потоков*, *Модель детерминистическая структуры потоков*, *ПОНИМАТЬ*, *Понятие*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Связь*, *Следствие*, *Стохастический процесс*, *Сущность*, *Явление*.

Детерминированный процесс (<*лат.* determino - ограничивать, определять, устанавливать и *лат.* processus - движение вперёд, течение, ход событий, успех, удача, преуспеяние, **процесс**) - *процесс*, в котором *состояние системы* в момент времени τ_0 однозначно определяет ход процесса в будущем - τ_1, $\tau_2, \ldots, \tau_i$. *Детерминированная* реакция системы на *совокупность* условий S означает однозначную реакцию: при каждом осуществлении условий S *событие* B происходит или не происходит. Например, все законы классической механики, физики твёрдого тела, термодинамики, гидродинамики, теплопередачи, массопередачи, химии, химической кинетики и др. Изучение непрерывных детерминированных процессов сводится к выводу (к построению) интегрально-дифференциальных уравнений, описывающих исследуемую систему.

См. также *Детерминизм*, *Детерминистичность математической модели*, *Моделирование*, *Моделирование математическое*, *Моделирование мысленное*, *Моделирование физическое*, *Модель*, *Модель детерминированно-стохастическая структуры потоков*, *Модель детерминистическая структуры потоков*, *Модель математическая*, *Мысленная модель*, *Мысленный эксперимент*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Связь*, *Следствие*, *Структурная модель*, *Сущность*, *Явление*.

Детерминистичность математической модели (уравнения) - свойство *модели математической* при подстановке в неё начальных условий однозначно описывать развитие *процесса* в пространстве за пределы исследованного *интервала* значений *факторов*. В случае развития процесса во времени детерминистическая модель позволяет производить как экстраполяцию развития процесса в будущее, так и изучать предысторию процесса. Это означает, что математическая модель удовлетворяет одному важному условию - она описывает *физическую сущность* процесса, в её основе *формализованные* математически *причинно-следственные связи явления*. Большинство уравнений классической физики, механики, химии, термодинамики и т.д. - детерминистические (*структурные*) модели, т.е. модели, отражающие физическую сущность процесса или явления. Другими словами, сущность структурного метода моделирования заключается в том, что построению собственно математической модели процесса предшествует этап анализа структуры *системы*, т.е. выявление всех *элементов* системы и характера их взаимодействия.

Простейшими детерминистическими моделями являются, например, уравнение равномерного движения:

$$l=w\tau \tag{Д-1}$$

и уравнение равноускоренного движения:

$$l = \frac{1}{2}\cdot a\tau^2, \tag{Д-2}$$

где τ - время, независимая переменная *величина* или *фактор*, а w и a - *параметры* моделей. В обеих моделях возможны преобразования: зная две любые переменные, можно вычислить третью, но для каждого очевидно, что $l=f(\tau)$, а не наоборот. Следующим уместно рассмотреть *закон* всемирного тяготения:

$$F = \gamma\cdot\frac{m_1 m_2}{l^2}, \tag{Д-3}$$

где γ=6,67·10^{-8} см^3/г·с^2 не только параметр, а и мировая *константа*. В этой модели также возможны вышеупомянутые преобразования. Примером более сложной (по количеству букв) может быть закон осаждения Стокса (*Stokes George Gabriel*; 1819-1903) - уравнение для скорости осаждения сферических *частиц* радиуса r и плотности $\rho_т$:

$$w = \frac{2}{9}\cdot\frac{r^2 g(\rho_т-\rho)}{\nu\rho}, \tag{Д-4}$$

справедливо для частиц диаметром от 0,0005 до 0,08 мм для большинства ньютоновских жидкостей с плотностью ρ и кинематической вязкостью ν в любой точке земного шара. Поскольку закон Стокса описывает физическую сущность процесса движения частиц дисперсной фазы в *сплошной среде*, он позволяет производить с собой алгебраические преобразования: в результате *экспериментального* определения скорости осаждения частиц можно вычислить их радиус и фракционный состав (задача вида $r=f(w, \rho_т, \rho, \nu)$, - седиментационный анализ), а в результате определения скорости падения шарика в калиброванной стеклянной трубке можно определить реологические характеристики испытуемой жидкости $\nu=f(w, r, \rho_т, \rho)$, (прибор Гепплера).

Модели течения идеальной жидкости Эйлера (И-1), вихревого течения идеальной жидкости Громеки (И-2), дифференциальных уравнений течения любых жидкостей в напряжениях (С-2)-(С-4), дифференциальных уравнений *ламинарного течения* Навье-Стокса (Л-1) и (Л-2), уравнений Рейнольдса в напряжениях для *турбулентного течения* (С-23), (Т-1) и др. также являются математическими детерминистическими моделями.

Обратим внимание на то, что рассмотренные математические модели удовлетворяют одному важному условию - они описывают физическую сущность процесса, в их основе - формализованные математически *причинно-следственные связи явления*. Подавляющее большинство уравнений классической физики, механики, химии, термодинамики и т.д. - детерминистические модели, т.е. модели, отражающие физическую сущность процесса или явления. Другими словами, сущность структурного метода моделирования заключается в том, что построению собственно математической модели процесса предшествует этап анализа структуры *системы*, т.е. выявление всех элементов системы и характера их взаимодействия. Эти и другие важные свойства детерминистических моделей практически отсутствуют у *моделей экспериментально-статистических*.

Статистическая модель:

$$w=b_0+b_1 r+b_2 g+b_3 \rho_т+b_4 \rho+b_5 \nu, \qquad (Д-5)$$

полученная, например, для скорости осаждения фракции частиц мела в воде в интервале температур 10÷30°С, не будет справедлива для другой фракции или для мелкого песка, для керосина или при температуре 60°С и т.п.

Уравнения гидростатики и гидродинамики тоже в значительной степени структурные модели. Например, затраты давления на создание скорости потока прямо пропорциональны квадрату скорости потока и его плотности:

$$\Delta P_{ск} = \frac{w^2 \rho}{2}. \qquad (Д\text{-}6)$$

Несколько сложнее обстоит дело с потерями давления в местных сопротивлениях (формула Л.Ю.Вейсбаха (*Weisbach Ludwig Julius*; 1871-1806)), [27]:

$$\Delta P_{м} = \zeta \cdot \frac{w^2 \rho}{2}, \qquad (Д\text{-}7)$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления.

Аналогично обстоит дело с потерями давления на трение в прямолинейном трубопроводе с диаметром d (формула А.Дарси (*H.Darcy*; 1803-1858)), [27]:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \rho}{2}. \qquad (Д\text{-}8)$$

где λ - коэффициент трения.

Квадратичное влияние скорости, пропорциональное плотности жидкости, длины канала и обратно пропорциональное влияние диаметра очевидно, а вот коэффициент трения λ является *параметром* модели, который можно определить только в результате эксперимента. Практика показала, что коэффициент трения в общем случае зависит от режима течения и шероховатости стенки трубы, ε. Режим течения, в свою очередь, является сложной функцией скорости потока, его реологических и геометрических характеристик. Другими словами, простота модели гидравлического сопротивления - кажущаяся. За этим уравнением находится большая область научных исследований динамики течения различных жидкостей в каналах различной *формы* при различных режимах течения. Исследователь должен изготовить лабораторную установку (физическую модель), поставить несколько серий экспериментов и численными методами обработать результаты с целью получения зависимости $\lambda = f(\varepsilon,\ d_э,\ Re, \ldots)$. Вряд ли найдётся исследователь, который попытается обработать результаты с целью получения статистической модели, например, вида:

$$\Delta P_{тр} = b_0 + b_1 l + b_2 w + b_3 \rho + b_4 d_э + b_5 w^2. \qquad (Д\text{-}9)$$

С помощью такого уравнения никакой экстраполяции и никакого обобщения сделать невозможно. Вернёмся к уравнению (Д-8) для $\Delta P_{тр}$. Коэффициент гидравлического сопротивления λ имеет разные выражения в зависимости от режима течения и шероховатости стенки трубы. Так, при Re<2300 коэффициент трения зависит только от Re: $\lambda=64/Re$. При Re>2300 для гидравлически гладких труб $\lambda=0,316/Re^{0,25}$, а для шероховатых труб:

$$\lambda=\frac{1}{\left(-2\cdot\lg\left(\frac{\varepsilon}{3,7}\right)+\left(\frac{6,81}{Re}\right)^{0,9}\right)^{2}}, \qquad (Д-10)$$

где ε - *относительная* шероховатость. Формула (Д-10) в значительной степени статистическая модель; обращает на себя внимание тот факт, что уравнение некрасивое, "неэстетический вид" указывает на то, что познание сущности процесса гидродинамического сопротивления шероховатых каналов весьма далеко от полноты.

Детерминистической модели свойственна исключительно важная особенность - эта модель может быть использована для расчёта целого ряда объектов, выходящих за рамки эксперимента и процессов, протекающих в условиях, **подобных** условиям экспериментального определения параметров модели. Структурные модели позволяют производить достаточно надёжную экстраполяцию, т.е. исследовать поведение объекта в различных, отличных от экспериментальных, условиях, развитие процесса в будущем или проследить предысторию... Структурный метод - самый древний и важный метод научного познания.

См. также *Детерминизм, Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование физическое, Модель, Модель детерминированно-стохастическая структуры потоков, Модель детерминистическая структуры потоков, Модель математическая, Модель экспериментально-статистическая, Следствие, Структурная модель.*

"Диалектика - умение видеть многогранность смыслов, заставляющее перешагивать через однозначное употребление слов" (*Александр Круглов*).

Диалектика (*нем.* Dialectic - диалектика < *ст.-нем.* Dialectica < *лат.* dialectica - искусство рассуждения < *греч.* **διαλεκτικη** - искусство вести разговор или прение; диалектика, от **δια** - посредством и **λεγω** - говорить, рассказывать, излагать) - учение об общих *детер-*

министических связях и становлении, о развитии бытия и познания и основанный на этом учении *метод* творческого мышления. Слово "диалектика" впервые употребил Сократ (ок. 470-399 до Р.Х.), обозначивший им искусство вести эффективный спор, диалог, направленный на взаимозаинтересованное обсуждение *проблемы* с целью достижения истины путём противоборства мнений. В смысле, близком к современному, *понятие* диалектики впервые употребляется Г.Гегелем, трактовавшим её как умение отыскивать противоположности в самой действительности. "Противоречие есть критерий истины, отсутствие противоречия есть критерий заблуждения" Г.Гегель (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831).

На протяжении последних, по крайней *мере* 26 веков, под диалектикой подразумевали: учение о вечном становлении и изменчивости бытия (*Гераклит Эфесский*; 535-475 г. до Р.Х.); искусство достижения *истины* путём противоборства мнений в диалоге (*Сократ*; ок. 470-399 до Р.Х.); метод расчленения и связывания понятий с целью постижения сверхчувственной *сущности* вещей (*Платон* (**Πλατων**); 428 или 427 до Р.Х. - 348 или 347 до Р.Х.); учение о совпадении противоположностей, о любом в любом, о совпадении *максимума* и минимума (*Николай Кузанский* (*Nicolaus Krebs Cusanus*; 1401-1464)), о единстве противоположностей (*Джордано Бруно*; 1548 - 17.02.1600); способ разрушения заблуждения человеческого *разума*, который, стремясь к познанию *истины*, неминуемо запутывается в противоречиях (*Иммануил Кант*; 1724-1804); всеобщий метод постижения противоречий (внутренних *импульсов*) развития бытия, духа и истории (*Г.Гегель*; 1770-1831); учение и метод, выдвигаемые в *качестве* основы познания действительности и её революционного преобразования (*К.Маркс* (*K.Marx*; 1818-1883), *Ф.Энгельс* (*F.Engels*; 1820-1895), *В.Ленин* (1870-1924)).

Главные философские категории и *законы* диалектики: переход количественных изменений в качественные; взаимное проникновение полярных противоположностей и превращение их друг в друга, когда они доведены до предела; развитие путём противоречия или отрицания отрицания; спиральная *форма* развития. "Всё действительное содержит внутри себя противоположные определения, и следовательно познание, а точнее, определение предмета в понятиях означает познание его как конкретного единства противоположных определений" (Г.Гегель (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831)).

Понимание и уместное применение диалектики помогают пользоваться понятиями и *суждениями*, учитывать взаимосвязь *явлений*, их противоречивость, изменчивость, возможность перехода противоположностей друг в друга. "Вообще в противоположности различное имеет в качестве противостоящего себе не только некое иное, но своё иное" (*Г.Гегель*; 1770-1831). См. также *ДІАЛЕКТИКА*, *СОСТОЯТЬ*, *Состоять*.

"ДІАЛЕКТИКА ж. греч. умословіе, логика на деле, въ преніи, наука правильнаго разсужденія; по злоупотребленію, искуство убедительнаго пустословія, ловкаго спора, словопренія. ***Діалектическій***, къ діалектике относящійся. ***Діалектикъ***, ловкій, искусный спорщикъ, доводчикъ; иногда софистъ. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

Диаметр эквивалентный (< *греч.* **δια-μετρος** - поперечник, диаметр, диагональ, ось. (*А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) и *нем.* Aquivalent - эквивалент < *лат.* aequus - ровный, равнинный, плоский, равный + *лат.* valens - сильный, крепкий, прочный, действенный, основательный. *И.Х.Дворецкий*. [72]) - *определяющий* геометрический *размер* некруглого сечения *потока*, $d_э=4S/П$, где S - площадь поперечного сечения потока, П - полный периметр поперечного сечения потока. Для кольцевого сечения $d_э=d_н-d_{вн}$. См. также *Радиус гидравлический*, *Определяющий размер*.

Динамика (<*греч.* **δυναμιχος** - могущий, имеющий силу (*позд.*) < **δυναμις** - сила, способность, могущество < **δυναμαι** - мочь, быть в состоянии. *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - 1. Раздел *механики*, изучающий закономерности движения тел под действием приложенных к ним сил. В основе классической динамики лежат три *закона* И.Ньютона (закон инерции, закон скорости изменения количества движения, закон равнодействия сил (*Newton Isaac*; 1643-1727)), закон сохранения количества движения и закон всемирного тяготения Ньютона. 2. *Термин*, означающий: движение тела или *среды* с *переменной* скоростью, скорость изменения во времени и в пространстве силы, приложенной к телу или *системе* тел, передача энергии или вещества с переменной скоростью, *нестационарность* развития какого-либо *явления* или *процесса*, изменение *состояния* какой-либо системы с переменной скоростью.

Необходимо обратить внимание на то, что *греч.* **δυναμις** - сила, способность, могущество, значение, в древнегреческой *математике* имело также значение: квадрат, квадратный *корень* (*А.Д.Вейсман*; р.1834 г.) [67]. См. также *Динамическая система*, *Динамический процесс*, *Динамичность*, *Стационарный процесс*.

Динамическая система (<*греч.* **δυναμιΧοζ** - могущий, имеющий силу и **συστημα** - целое, составленное из *частей*) - в первоначальном значении механическая *система* с конечным числом степеней свободы. Её *состояние* обычно характеризуется расположением (конфигурацией) и скоростью изменения последних, а закон движения указывает, с какой скоростью изменяется состояние системы. В более широком смысле *термин "Динамическая система"* означает произвольную физическую систему (например, систему автоматического регулирования или электронную, радиотехническую систему), описываемую дифференциальными уравнениями и даже просто систему дифференциальных уравнений безотносительно к её происхождению. В более узком смысле динамическая система - это *совокупность* взаимодействующих объектов, причём состояние динамической системы изменяется во времени и/или в пространстве. Свойства всякой динамической системы определяются её *параметрами* (массой, *коэффициентом* трения, коэффициентом упругости, плотностью, вязкостью и другие), которые могут быть сосредоточенными и распределёнными. В первом случае *переменные* зависят только от времени, во втором (по крайней мере, некоторые из переменных) - изменяются не только во времени, но и в пространстве.

См. также *Динамика, Динамичность, Динамический процесс, Параметр распределённый, Параметр сосредоточенный, Система, Состояние, Стационарный процесс.*

Динамический процесс (<*греч.* **δυναμιΧοζ** - могущий, имеющий силу (*позд.*) < **δυναμιζ** - сила, способность, могущество < **δυναμαι** - мочь, быть в состоянии. (*А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [66]) и *лат.* processus - движение вперёд, течение, ход *событий*, **процесс**) - *процесс*, в котором *параметры*, определяющие *состояние системы*, изменяются во времени и/или в пространстве.

В случае получения *моделей структуры потоков* реального *аппарата динамичность* процесса может быть *относительна*. Расход жидкости (пара, *газа*), поле скоростей в проточном аппарате (в трубопроводе, в скважине) должны быть постоянны во времени, а концентрация *трассера* во всех точках аппарата (трубопровода, скважины) при импульсном вводе будет изменяться во времени до полного исчезновения. В случае ступенчатого возмущения динамичность будет наблюдаться до тех пор, пока концентрации трассера на входе и выходе не сравняются.

См. также *Динамика, Динамическая система, Динамичность, Изоморфизм математический, Система, Состояние, Стационарный процесс.*

"Память с возрастом становится всё более динамичной. Не успеешь что-то запомнить, как уже всё забыл." (*Болеслав Вольтер*, р. 1929).

Динамичность (*франц.* dynamikos - динамичный, *нем.* dynamisch - *тж.* [77] < *греч.* δυναμιχοζ - могущий, имеющий силу (*позд.*) < δυναμιζ - сила, способность, могущество < δυναμαι - мочь, быть в состоянии. *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - богатство движением, действием, внутренней силой; способность к развитию, видоизменению [77].

См. также *Динамика, Динамическая система, Динамический процесс, Импульс, Состояние, Стационарный процесс.*

Дискретность (< *лат.* discretus - разделённый, прерывистый, discerno - отделять, разделять) - прерывистость; противопоставляется непрерывности. Например, дискретное изменение какой-либо *величины* во времени - это изменение, происходящее через определённые промежутки времени (скачками); *система* целых чисел (в противоположность системе действительных чисел) является дискретной.

Дисперсия (< *лат.* disperse - рассеянно, разбросанно, там и сям; dispersio - рассеяние, разбросанность) в математической статистике и теории вероятностей - одна из характеристик распределения вероятностей *случайной величины*, наиболее употребительная мера рассеяния её значений, т.е. отклонения её от *среднего*; дисперсия - центральный момент второго порядка. В теории вероятностей дисперсия DX случайной величины X определяется как математическое ожидание $E(X-M_x)^2$ квадрата отклонения X от её *математического ожидания* M_x=EX. Для случайной величины с дискретным распределением дисперсия определяется формулой:

$$DX=\sum_{i=1}^{\infty}(x_i-M_x)^2p_i, \qquad (Д\text{-}11)$$

где вероятность $p_i=P(X=x_i)$, при условии, что ряд сходится. Для случайной величины X с непрерывным распределением, имеющим плотность вероятности $p(x)$, определяется формулой:

$$DX=\int_{-\infty}^{\infty}(x-M_x)^2p(x)\,dx, \qquad (Д\text{-}12)$$

если этот интеграл сходится. Дисперсия имеет важное значение в характеристике качества статистической оценки случайной величины. Наряду с дисперсией в качестве меры рассеяния (той же размерности, что и сама случайная величина) используется квадратный корень из дисперсии: $\sigma=\sqrt{DX}$, называемый квадратичным отклонением X. Если $DX=0$, то случайная величина X принимает с вероятностью 1 единственное значение M_x. Поскольку в реальной жизни математическое ожидание - величина неизвестная, на практике определяют среднее значение выборки и выборочную дисперсию:

$$s^2_{оп} = \frac{1}{n_{оп}-1} \sum_{i=1}^{n_{оп}} (x_i-\bar{x})^2; \qquad (Д\text{-}13)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n_{оп}} \sum_{i=1}^{n_{оп}} x_i, \qquad (Д\text{-}14)$$

где $n_{оп}$ - число опытов в *выборке*, $\nu_{оп}=n_{оп}-1$ - число степеней свободы выборочной дисперсии.

С точки зрения ценности *информации* о поведении случайной величины то, чем больше дисперсия (т.е. больше разброс значений случайной величины относительнс центра распределения), тем оценка M_x хуже, информация о сущности явления, процесса разнесена на большем интервале. При сближении значений стандартного отклонения и среднего значения информативность уменьшается, а если в результате обработки данных получено $x_{ср}<s_x$, то либо ошибки измерений велики, либо в явлении, процессе отсутствует физическая сущность.

Для оценки результатов *наблюдений* одной дисперсии недостаточно. Корень квадратный из выборочной дисперсии называется квадратичным отклонением, *стандартным отклонением* или *стандартом*. Начинающие исследователи обычно с трудом развивают интуитивное восприятие численного значения дисперсии или стандартного отклонения. Является ли дисперсия, равная, например, 777, большой или малой? Что значит стандартное отклонение $0,51\cdot10^{-4}$? Оказывается, для интерпретации как дисперсии, так и стандартного отклонения главное не получить численные значения последних, а правильно сравнить дисперсию исследуемой выборки с какой-либо другой дисперсией, или стандартное отклонение сравнить со средним значением выборки, наконец стандартное отклонение умножить на правильно выбранный критерий Стьюдента, чтобы получить доверительный *интервал* для **неизвестного** математического ожидания.

Диссипация (*лат.* dissipatio - рассеяние, разрушение, распад) - *явление* перехода энергии упорядоченного движения в энергию неупорядоченного движения молекул, в конечном итоге - в тепловую энергию. Для несжимаемой *жидкости поток* диссипируемой энергии, отнесённый к единице объёма жидкости в 1 с, определяется выражением:

$$\varepsilon_{\text{дv}} = -\sigma_t \cdot \frac{dw}{dl}. \qquad \text{(Д-15)}$$

Знак минус обусловлен отрицательным значением градиента скорости (скорость жидкости - убывающая функция, т.к. количество движения передаётся от слоёв жидкости движущихся с большей скоростью к слоям жидкости движущимся с меньшей скоростью). С учётом закона вязкого трения И.Ньютона (*Newton Isaac*; 1643-1727):

$$\varepsilon_{\text{дv}} = \mu \cdot \left(\frac{dw}{dl}\right)^2. \qquad \text{(Д-16)}$$

Количество диссипируемой энергии в значительной степени зависит от режима течения жидкости. При *ламинарном течении* действует механизм молекулярной вязкости, и перенос количества движения осуществляется за счёт движения молекул. При *турбулентном течении* перенос количества движения осуществляется не отдельными молекулами, а *частицами, комками* жидкости, участвующими в турбулентных пульсациях. Молекулы переносят количество движения со скоростями перемещения молекул и на расстояния свободного пробега. Частицы жидкости переносят количество движения со скоростью турбулентных пульсаций на расстояние значительно большее, соизмеримое с размером канала, на длину пути смешения. По этой *причине* диссипация энергии в мелкомасштабных турбулентных пульсациях значительно превышает диссипацию энергии, обусловленную молекулярной вязкостью.

В результате диссипации энергии движущаяся жидкость нагревается. Обычно этот нагрев невелик (от нескольких тысячных до сотых долей градуса), но при больших значениях градиента скорости нагрев жидкости может быть весьма значительным. Диссипация энергии в двухфазных потоках превышает диссипацию энергии в однородной жидкости, образующей сплошную фазу, вследствие того, что скорость деформации сплошной фазы вблизи частиц дисперсной фазы оказывается больше, чем вдали от неё. Подробно см., например, [2, 4, 27].

Диффузия (<*лат.* diffusio - распространение, растекание, расширение.- *И.Х.Дворецкий.* [71]) - распространение вещества в какой-либо *среде* в направлении убывания его *концентрации*, обусловленное тепловым движением ионов, атомов и молекул (так называемая молекулярная диффузия), а также более крупных *частиц* вещества (например, частиц дисперсной фазы в коллоидных *системах*). Диффузия относится к числу основных *процессов природы* и *технологии*. *Явление* диффузии *формализовал* в 1855 г. немецкий физиолог Адольф Фик (*A.Fick*; 1829-1901): количество вещества dm, диффундирующее нормально площади dS за время $d\tau$, пропорционально *градиенту* концентрации dc/dl:

$$dm = -D\cdot\frac{dc}{dl}\,dSd\tau, \qquad (Д\text{-}17)$$

где D - *коэффициент* молекулярной диффузии. Выражение (Д-17) называется первым *законом* Фика. Первый закон Фика описывает диффузию однородного *газа* (явление самодиффузии) в одномерном *стационарном* случае. Значение D зависит от массы и размера диффундирующих частиц, состава системы, температуры и давления и в первом приближении не зависит от концентрации (так называемое линейное приближение). Знак минус указывает на то, что производная dc/dl отрицательна, т.е. *поток* вещества направлен от бо́льших концентраций к ме́ньшим.

Диффузия имеет место в газах, парах, *жидкостях* и твёрдых телах, причём диффундировать могут как частицы посторонних веществ, так и частицы самого вещества среды. В последнем случае процесс сводится к направленному движению частиц вследствие хаотического теплового движения и называется самодиффузией. В результате диффузии происходит самопроизвольное взаимное проникновение друг в друга соприкасающихся веществ и выравнивание концентраций во всём объёме системы. Диффузия может возникать также при наличии градиента температуры по объёму системы (термодиффузия), градиента давления или под действием гравитационного поля (бародиффузия). Под действием внешнего электрического поля происходит перенос заряженных частиц (электродиффузия).

Количество вещества, переходящее в единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению переноса, называется диффузионным потоком. Если в системе имеется градиент концентрации dc_i/dl i-того вещества в направлении l, диффузионный поток g_i определяется соотношением:

$$g_i = - D_i \cdot \frac{dc_i}{dl}, \qquad (Д\text{-}18)$$

где D_i - коэффициент молекулярной диффузии, dc_i/dl - градиент концентрации. Выражение (Д-18) является современной *формой* записи первого закона Фика. *Величина* D_i определяет скорость переноса (транспорта) частиц i-того компонента в объёме рассматриваемого вещества. Скорость накопления вещества в данной точке пространства, обусловленная диффузией, характеризуется уравнением:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial l^2}, \qquad (Д\text{-}19)$$

где τ - время. Диффузия в трёхмерном пространстве описывается вторым законом Фика [119]:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \cdot \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right), \qquad (Д\text{-}20)$$

который, по существу, является следствием первого закона Фика (Д-17), (Д-18) и закона сохранения массы.

Если в системе происходит выравнивание концентраций нескольких компонентов, то диффузионный поток каждого компонента зависит от градиентов концентраций всех остальных компонентов. В общем случае неоднородного *распределения* вещества в многокомпонентной неидеальной смеси при наличии градиентов температуры и давления потоки вещества пропорциональны градиентам химических потенциалов.

Механизм диффузии существенно различен в газах, жидкостях и твёрдых телах вследствие разного характера теплового движения частиц. Наиболее интенсивна диффузия в газах (например, для диффузии паров воды в воздухе при 0°С D=0,23·10^{-4} м^2/с), медленнее - в жидкостях (для диффузии поваренной соли в воде при 20°С D=1,1·10^{-9} м^2/с), ещё медленнее - в твёрдых телах (для диффузии золота в свинце при 20°С D=4·10^{-14} м^2/с). Природа диффузии в газах обусловлена хаотическим движением молекул газа, в жидкостях - перескоками молекул из одного устойчивого положения в другое. В твёрдом теле могут действовать несколько механизмов диффузии: обмен местами атомов с вакансиями (незанятыми узлами кристаллической решётки), перемещение атомов по междоузлиям и др. Диффузия имеет большое практическое значение, т.к. ею в значительной степени определяется скорость многих *физико*-химических процессов - абсорбции, адсорбции и десорбции, растворения и кристаллизации, испарения и конденсации, сушки, экстрагирования. Диффузия - основа мембранных методов разделения смесей, она играет важнейшую роль в процессах жизнедеятельности клеток и тканей животных и растений.

Подробно см., например, [2, 4, 27, 46, 48]. См. также *Изоморфизм математический*, *Структура потока*, *Функция отклика*.

Ж

Жидкость - одно из фазовых (агрегатных) *состояний* вещества, промежуточное между твёрдым и *газообразным*. Вещество находится в жидком состоянии при давлениях, больших давления в тройной точке и при температурах, заключённых в *интервалах* от температуры кристаллизации до температуры кипения. Граница раздела фаз между жидкостью и паром исчезает в критическом состоянии. Жидкости подобно твёрдым телам обладают малой сжимаемостью и *относительно* высокой плотностью; подобно газам не обладают упругостью *формы* и обладают текучестью. Средние расстояния между молекулами жидкостей такого же порядка, как и размеры самих молекул (~0,1 нм), и силы межмолекулярного взаимодействия весьма значительны. Этим объясняются особые свойства поверхностного слоя жидкостей.

По физической *сущности* жидкости подразделяются на нормальные жидкости (однокомпонентные, растворы и разного рода смеси), жидкие кристаллы с сильно выраженной анизотропией и квантовые жидкости. Нормальные жидкости макроскопически однородны и изотропны при отсутствии внешних воздействий. По способности оказывать сопротивление сдвигу нормальные жидкости подразделяются на две группы: ньютоновские, для которых *коэффициент* динамической вязкости μ не зависит от градиента скорости и является *константой* при данной температуре, и неньютоновские, для которых коэффициент динамической вязкости не является константой и касательное напряжение не является линейной функцией градиента скорости и выражается зависимостями более сложными, чем закон вязкого трения Ньютона. *Природа* вязкости в жидкостях определяется силами межмолекулярного притяжения.

Неньютоновские жидкости, в свою очередь, классифицируются на реологически стационарные жидкости (тела Шведова-Бингама, вязкопластичные, псевдопластичные и дилатантные жидкости), реологически нестационарные жидкости (тиксотропные и реопектические) и вязкоупругие жидкости. К неньютоновским жидкостям относятся битумы, высокопарафинистые нефти, буровые растворы, высококонцентрированные суспензии, зубные пасты, клеи, крахмальные клейстеры, латексы, масляные краски, масляные лаки, многие пищевые продукты (например, майонез, сметана, соусы и т.д.), мучное тесто, песок, смолы, сточные грязи, суспензии и растворы, содержащие *несимметричные частицы* и растворы полимеров, шламы и другие сложные подвижные *системы* (*среды*).

При нагревании или уменьшении плотности свойства жидкости (теплопроводность, вязкость, диффузия и др.), как правило, изменяются в сторону сближения со свойствами газов. При охлаждении до температуры, близкой к температуре кристаллизации, большинство свойств нормальных жидкостей (плотность, теплоёмкость, сжимаемость и др.) приближаются к соответствующим свойствам твёрдых тел.

Наличие сильного межмолекулярного взаимодействия приводит к существованию поверхностного натяжения на границе жидкости с любой другой средой.

З

"**ЗАКОНЪ** м. (чем дело *закончено*) пределъ, постановленный свободе воли или действiй; неминучее начало, основанiе; правило, постановленiе высшей власти. (...) ***Законный***, къ закону относящiйся, особ. согласный съ закономъ, с установленiями церкви и государства. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

Закон - естественная, всеобщая, необходимая и существенная *связь* и *взаимозависимость процессов* и *явлений* в *природе*, обществе и мышлении; перманентное, повторяющееся, достаточно редко меняющееся, идентичное в явлении. В *науке* прогресс неразрывно связан с открытием законов природы. Фундаментальные законы природы достаточно просты, они мало что объясняют и только констатируют факты. Например, в явлениях переноса импульса, энергии и массы фундаментальные законы: основополагающий закон равновесия (во *множестве* смыслов этого *понятия*), *закон Авогадро*, закон *Архимеда*, закон *гидростатики* Паскаля, законы *состояний идеальных газов* (законы Амага, *Авогадро*, Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Дальтона, Шарля), законы Ньютона (*инерции*, сохранения *количества* движения, равнодействия *сил*, закон всемирного тяготения Ньютона, *сохранения законы* и многие другие. Недоказуемые фундаментальные законы называются также *постулатами*. Большинство законов формализуют факт или явление вне связи с *пространством* и *временем*, причём формализация достаточно краткая.

В явлениях переноса собственно **законы природы** можно *классифицировать* на (1) законы, констатирующие факт или явление без существенной формализации (например, закон Архимеда, первый и третий законы Ньютона), (2) законы, формализующие факт или явление в виде *соотношения* трёх-пяти *физических величин* (например, второй закон и закон всемирного тяготения Ньютона, закон Гука, законы состояний идеальных газов, закон термохимии Гесса, закон взаимосвязи массы и энергии $E=mc^2$ (в состоянии покоя $E_0=m_0c^2$; $c=(2,997928\pm0,000004)\cdot10^8$ м/с скорость света в вакууме), закон *сохранения* и превращения *энергии* (*первое начало термодинамики*), закон возрастания энтропии S (*второе начало термодинамики*), постулат о *предельных* значениях *энтропии* (*третье начало термодинамики*), закон сохранения *массы* Ломоносова, закон осаждения Стокса, законы растворимости Генри ($p_1=E\cdot x_1$) и Рауля ($p=p^0\cdot x$) и др., (3) *изоморфные линейные* одномерные *дифференциальные модели переноса субстанции - вязкого трения закон Ньютона* $\sigma_t=-\mu\cdot(dw/dl)$, закон *теплопроводности* Фурье $q=-\lambda\cdot(dT/dl)$, закон *диффузии* Фика $g=-D\cdot(dc/dl)$, закон *диссипации энергии* $\varepsilon_{дv}=-\sigma_t\cdot(dw/dl)$, закон *фильтрации* Дарси $w=-k\cdot(dp/dl)$, закон плотности тока Ома $\delta=-g\cdot(dU/dl)$, (4) статистические законы (например, закон *нормального распределения* и его проявления: закон распределения *ошибок наблюдений* и распределения молекул газа по *скоростям*.

Достаточно часто бывает так, что простой закон при попытке практического применения значительно усложняется. Это происходит при наложении на него начальных и *граничных условий*, характеристик конкретного *аппарата*.

Математические модели большей размерности и модели, описывающие явление или процесс в пространстве и/или во времени, собственно законами называются редко. В большинстве своём это теории, уравнения математические, *системы* (алгебраических и/или дифференциальных) уравнений, математические модели разной степени сложности.

В заключение упомянем фундаментальные законы философии, истории, социологии, психологии, лингвистики, математики...

См. также *Детерминированный процесс*, *Детерминистичность математической модели*, *Изоморфизм математический*, *Импульс*, *Структура потока*, *Физика*.

Закрытая система - *система*, которая не имеет обмена веществом с внешней *средой*, возможен только обмен энергией. Подробнее см. *Система*.

Замкнутая система - 1. В *механике* - *система* тел, на которые не действуют внешние силы, т.е. силы, приложенные со стороны других, не входящих в рассматриваемую систему тел. 2. В термодинамике - система, которая не обменивается с внешней *средой* ни энергией, ни веществом. Другое название - изолированная система. Подробнее см. *Система*.

И

Идеальная жидкость — гипотетическая *жидкость*, вязкость и теплопроводность которой равны нулю (рис.32). Похожее поведение мангышлакской нефти при малых скоростях деформации обнаружено В.Н.Дегтярёвым [14]. Межзвёздный газ в космосе с концентрацией 1 молекула/см^3 можно рассматривать как идеальную жидкость.

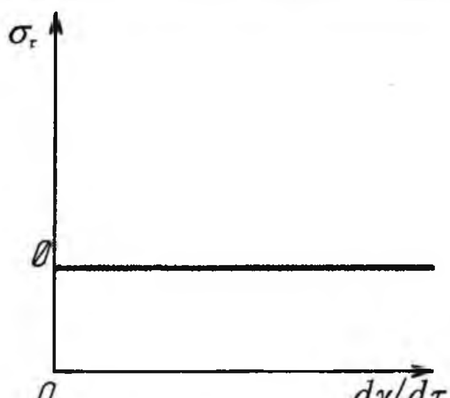

Рис. 32. Кривая течения идеальной жидкости.

Действие сил вязкого трения в наибольшей степени проявляется вблизи твёрдых стенок, ограничивающих поток. Здесь скорость жидкости минимальна, $w_ж$=min, а касательное напряжение максимально, σ_t=max (не следует путать со скоростью деформации жидкости - у стенки она максимальна, $(d\gamma/d\tau)_{ст}$=max), а в *центре* (в ядре потока) минимальна,

$(d\gamma/d\tau)_ц$=min). По мере удаления от стенки скорость потока увеличивается, а касательное напряжение уменьшается (например, вплоть до нуля в центре трубы). В этой связи в ряде случаев силами вязкого трения газа можно пренебречь. Но бывают случаи, когда силами вязкого трения можно пренебречь и у жидкостей.

Одно из уравнений течения идеальной жидкости можно получить из уравнений Навье-Стокса (Л-1) при вязкости ν=0:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x}; \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y}; \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial z}\right) + g + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z}. \end{cases} \qquad \text{(И-1)}$$

Уравнения (И-1) называются уравнениями Эйлера (*Leonhard Euler*; 1707-1783); они описывают *ламинарное течение* идеальной жидкости.

Вихревое течение идеальной жидкости описывается уравнениями И.С.Громеки (1851-1889), выведенные им в 1882 г.:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = P_x - 2(w_z\omega_y + w_y\omega_z) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x} - \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{w^2}{2}\right), \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = P_y - 2(w_x\omega_z + w_z\omega_x) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y} - \dfrac{\partial}{\partial y}\left(\dfrac{w^2}{2}\right), \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = P_z + 2(w_y\omega_x + w_x\omega_y) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z} - \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{w^2}{2}\right), \end{cases} \qquad \text{(И-2)}$$

где P_x, P_y, P_z - проекции ускорения силы тяжести на оси x, y и z, соответственно, м/с^2; ω_x, ω_y, ω_z - угловые скорости вращения жидкости в произвольной точке O плоскостей yOz, xOz, xOy соответственно (так называемые компоненты вихря); расположение элемента объёма $dV=dx\times dy\times dz$ в точке O произвольное (в отличие от уравнений (И-1) и (И-8)). Производные в левой части характеризуют *нестационарность* движения жидкости; w_x, w_y, w_z - проекции вектора скорости, w, на оси x, y, z соответственно, причём $w^2=w^2{}_x+w^2{}_y+w^2{}_z$.

При безвихревом течении идеальной жидкости $\omega_x=\omega_y=\omega_z$=0. При *стационарном* течении:

$$\frac{\partial w_x}{\partial \tau} = \frac{\partial w_y}{\partial \tau} = \frac{\partial w_z}{\partial \tau} = 0, \qquad (И\text{-}3)$$

и уравнения (И-2) легко интегрируются. Если единственная массовая сила - сила тяжести, действующая в направлении оси z, то P_z=$-g$, и после интегрирования получается уравнение Д.Бернулли (*Daniel Bernoulli*; 1700-1782):

$$\frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} + Zg = \text{const}. \qquad (И\text{-}4)$$

где $w^2/2$ характеризует *кинетическую энергию*, p/ρ и Zg - *потенциальную* энергию, *отнесённые* к *единице массы* жидкости. Const является постоянной для каждой *линии тока*. Уравнение (И-4) выражает энергетический баланс потока идеальной жидкости. Оно является следствием *первого начала термодинамики*. Если его *умножить* на плотность ρ, то получим вторую *форму* уравнения Д.Бернулли для постоянства суммы давлений в потоке жидкости:

$$\frac{w^2\rho}{2} + p + \rho gh = \text{const}_2. \qquad (И\text{-}5)$$

Все члены уравнения (И-5) имеют размерность давления и называются иногда соответственно *динамическим*, *статическим* и *весовым* давлениями.

Если уравнение (И-4) почленно разделить на ускорение силы тяжести g, то получим третью форму уравнения Д.Бернулли для полного напора в потоке невязкой (*идеальной*) несжимаемой жидкости:

$$\frac{w^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + Z = \text{const}_3. \qquad (И\text{-}6)$$

где $w^2/2g$ - скоростной (*динамический*), пьезометрический (*статический*) и Z - геометрический (нивелирный) напоры соответственно. В уравнении (И-6) все *слагаемые* имеют размерность длины, поэтому их называют также скоростной (динамической), пьезометрической (статической) и геометрической (нивелирной) высотами.

Для вязкой (реальной) несжимаемой жидкости:

$$\frac{w^2{}_1}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + Z_1 - h_{\text{сопр.}} = \frac{w^2{}_2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + Z_2, \qquad (И\text{-}7)$$

где $h_{сопр}$ - потери геометрического напора на гидравлическое сопротивление канала. Сравните с уравнениями (Д-6), (Д-7) и (Д-8). См. также *Вязать*, *ИДЕЯ*, *Идеальное*.

> "Именно абсолютность и, следовательно, недостижимость идеала и является лучшей гарантией бесконечности движения к нему." (*С.Н. Булгаков*; 1871-1944).

Идеальное (**идея** < *польск.* idea, *нем.* Idee, *франц.* idee < *лат.* idee, *греч.* **ιδεα : ιδετν** "видеть". *М.Фасмер*; 1886-1962. [85]) - 1. Воображаемое, реально не существующее. 2. Совершенное, образцовое, безукоризненное, безупречное, соответствующее идеалу. 3. *фил.* Относящееся к *идеям*, к функционированию мышления; духовное, психическое в противоположность *физическому*. См. также *ИДЕЯ*.

"**ИДЕЯ** ж. латин. понятiе о вещи; умопонятiе, представленье, воображенье предмета; умственное изображенье. || Мысль, выдумка, изобретенье, вымыселъ; || Намеренье, замыселъ. (...) ***Идеалъ*** м. мысленный образецъ совершенства чего либо, въ какомъ либо роде; первообразъ, прообразъ, началообразъ; представитель; образецъ-мечта. ***Идеаловый***, къ идеалу относящiйся; ***идеальный***, воображаемый, думный, мысленный; первообразный, прообразный или началообразный. ***Идеальность*** *противоположна реальности*, мыслимый первообразъ насущному. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872). [68]. См. также *Идеальное*.

Изоморфизм математический (< *греч.* **ιбоζ** - равный и *греч.* **μορφη** - вид, форма, тип.- *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - *понятие* современной математики, уточняющее широко распространённое понятие аналогии, *модели*. Математический изоморфизм - соответствие (*отношение*) между объектами, выражающее тождество их *структуры* (строения). При этом изучение одной из *изоморфных систем* в значительной мере (с абстрактно-математической точки зрения - полностью) сводится к изучению свойств другой. Например, изоморфность дифференциальных уравнений переноса количества движения (*импульса*) при *ламинарном течении жидкости* Навье-Стокса (И-8), конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа (И-10) и конвективного массообмена (И-11) указывает на подобие полей скоростей, температур и *концентраций*.

Поле скоростей *частиц потока* вязкой капельной жидкости при ламинарном течении (конвективный перенос импульса) описывается дифференциальными уравнениями Навье-Стокса (по имени франц. учёного Л. Навье (*L. Navier*; 1785-1836) и англ. учёного Дж. Стокса (*G. Stokes*; 1819-1903)):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x}; \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y}; \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right) + \left(g + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z}\right) \end{cases} \qquad \text{(И-8)}$$

и дифференциальным уравнением неразрывности (*сплошности*) потока:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho \cdot \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) = 0. \qquad \text{(И-9)}$$

Уравнение неразрывности (сплошности) потока выражает *закон сохранения массы* в каждой точке *сплошной среды*.

Поле температур в потоке жидкости описывается уравнением конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа (по имени франц. математика Ж. Б. Ж. Фурье (*J. B. J. Fourier*; 1768-1830) и нем. физика Г. Р. Кирхгофа (*G. R. Kirchhoff*; 1824-1887):

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= -\left(w_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \\ &\quad + a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{\Delta H}{\rho c_p}, \end{aligned} \qquad \text{(И-10)}$$

где a - коэффициент температуропроводности жидкости, ΔH - внутренний источник или сток теплоты (например, тепловой эффект химической реакции).

Поле концентраций для i-того компонента - уравнением конвективного массообмена:

$$\frac{\partial c_i}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \frac{\partial c_i}{\partial x} + w_y \cdot \frac{\partial c_i}{\partial y} + w_z \cdot \frac{\partial c_i}{\partial z}\right) + \\ + D_i \cdot \left(\frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c_i}{\partial z^2}\right) + r_i. \qquad \text{(И-11)}$$

где D_i - коэффициент молекулярной *диффузии* i-того компонента в жидкости, r_i - скорость исчезновения или накопления i-того компонента в *процессе* химической реакции (если таковая протекает).

Очевидно, уравнения переноса массы, энергии, а в случае безградиентного течения (т.е. при отсутствии градиента давления) - и переноса импульса, тождественны по *форме*, что указывает на подобие полей концентраций, температур и скоростей (в случае подобных граничных условий). Различия этих полей (при отсутствии источников и стоков) определяются значениями коэффициентов, характеризующих транспортные свойства среды, так называемых коэффициентов переноса: кинематического коэффициента вязкости $\nu=\mu/\rho$, коэффициента молекулярной диффузии D и коэффициента температуропроводности $a=\lambda/\rho c_p$. Размерности всех коэффициентов переноса одинаковы - м²/с.

Математический изоморфизм можно также проследить и в более простых линейных моделях, представленных в дифференциальном виде в современной записи.

Закон фильтрации А.Дарси (по имени франц. инженера А.Дарси (*H.Darcy*; 1803-1858)) - скорость фильтрации *жидкости* сквозь пористый слой прямо пропорциональна градиенту давления:

$$w = -\frac{1}{r}\cdot\frac{dp}{dl}, \qquad \text{(И-12)}$$

где r - сопротивление пористого слоя, отнесённое к единице его высоты; иногда вместо сопротивления слоя записывают коэффициент фильтрации, $k=1/r$.

Закон вязкого трения И.Ньютона (по имени англ. учёного И.Ньютона (*Newton Isaac*; 1643-1727)) - при одномерном ламинарном течении жидкости касательное напряжение прямо пропорционально градиенту *скорости:*

$$б_t = - \mu \cdot \frac{dw}{dl}. \qquad \text{(И-13)}$$

Диссипация в *потоке* жидкости. Для несжимаемой жидкости поток диссипируемой *энергии*, отнесённый к единице объёма жидкости в 1 с, определяется выражением:

$$\varepsilon_{дv} = - б_t \cdot \frac{dw}{dl}. \qquad \text{(И-14)}$$

Закон плотности тока Г.Ома (по имени нем. физика Г.С.Ома (*G.S.Ohm*; 1787-1854)) - плотность электрического тока в проводнике прямо пропорциональна градиенту напряжения:

$$\delta = - g \cdot \frac{dU}{dl}, \qquad \text{(И-15)}$$

где: g - электрическая проводимость проводника, Сименс ($g=1/r$, где r - удельное сопротивление проводника, Ом).

Закон *диффузии* А.Фика (по имени нем. физиолога Адольфа Фика (*A.Fick*; 1829-1901)) - поток компонента i, отнесённый к единице поверхности, прямо пропорционален градиенту концентрации этого компонента:

$$g_i = - D_i \cdot \frac{dc_i}{dl}. \qquad \text{(И-16)}$$

Закон теплопроводности Ж.Фурье (по имени франц. математика Ж.Б.Ж.Фурье (*J.B.J.Fourier*; 1768-1830)), согласно которому вектор плотности теплового потока пропорционален и противоположен по направлению градиенту температуры:

$$q = - \lambda \cdot \frac{dT}{dl}. \qquad \text{(И-17)}$$

Математически изоморфны также уравнение Вант-Гоффа (*J.van't Hoff*; 1852-1911) и уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

Уравнение Вант-Гоффа:

$$\frac{d\ \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}, \qquad \text{(И-18)}$$

где K_p - константа равновесия химической реакции, выраженная через концентрации, ΔU - изменение внутренней энергии в данной реакции (тепловой *эффект*).

Уравнение Вант-Гоффа также применяется для определения повышения температуры кипения раствора нелетучего вещества по сравнению с температурой кипения чистого растворителя:

$$\frac{d\ \ln x}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}, \qquad (\text{И-19})$$

где x - мольная доля растворителя в растворе.

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса (по имени франц. физика Б.Клапейрона (*B.Clapeyron*; 1799-1864) и нем. физика Р.Клаузиуса (*R.Klausius*; 1822-1888):

$$\frac{d\ \ln p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}, \qquad (\text{И-20})$$

где ΔH - изменение энтальпии в результате фазового перехода при температуре T, p - давление насыщенных *паров*. Можно также упомянуть следующие изоморфные уравнения: уравнение Антуана, описывающее зависимость давления насыщенных паров от температуры:

$$\ln p = A + \frac{B}{T+C}, \qquad (\text{И-21})$$

где B - энергия активации фазового перехода; уравнение для зависимости коэффициента *динамической* вязкости от температуры:

$$\ln \mu = A + \frac{B}{T+C}, \qquad (\text{И-22})$$

где B - энергия активации вязкого течения, и уравнение С.Аррениуса (*S.Arrhenius*; 1859-1927), описывающее зависимость константы скорости химической реакции от температуры T:

$$\ln k = A - \frac{E}{RT}, \quad \text{или} \quad k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \qquad (\text{И-23})$$

где E - энергия активации химической реакции, A - так называемый предэкспоненциальный множитель.

Импульс (< *нем.* Impuls, *франц.* impulsion < *лат.* impulsio - толчок, побуждение, повод, воздействие; *лат.* impulsus - толчок, удар, столкновение, падение, обвал, побуждение, инициатива < *лат.* impellere - приводить в движение, толкать. [72, 77, 83]) - 1. Побудительный *момент; возмущающее* действие; кратковременная *причина*, вызывающая какое-либо *следствие*. 2. *мех. Количество* движения - мера *механического* движения, равная произведению массы материального объекта на его скорость, - $\mathbf{P}=mv$. *Импульс замкнутой системы* в *процессе* её движения не изменяется (*закон* сохранения импульса). Масса, входящая в выражение второго закона Ньютона, $d(mv)=Fd\tau$ (элементарное изменение *количества* движения (импульса) материальной точки равно элементарному импульсу действующей на неё силы). Кроме этого различают импульс силы и импульс ударный. См. также *Инерция*. 3. *акуст.* Краткое повышение давления или температуры в *относительно* малом объёме *жидкой* или *газовой среды*, приводящее к возникновению волны повышенного давления, распространяющейся от точки возмущения со скоростью звука. 4. *электр.* Импульс электрический - кратковременное увеличение напряжения и/или силы тока. 5. *физиол.* Нервный импульс, передающийся по нервному волокну. Волна возбуждения, распространяющаяся по нервной системе. Импульсивное действие - подсознательное действие, а также движение, вызванное рефлекторным образом.

Интервал (< *лат.* intervallum - промежуток, расстояние, промежуток времени, **интервал**) - 1. *мат.* Совокупность всех действительных чисел (или точек), заключённых между двумя данными числами a и b (или точками), не содержащая их. Обозначается (a, b). 2. Перерыв, промежуток, расстояние в пространстве или во времени. 3. *муз. Соотношение* двух звуков по их высоте.

Информация (< *лат.* informatio - разъяснение, осведомление, истолкование) - подмножество цепочек *причинно-следственных связей* (*ПСС*), *выбранное* из *множества бесконечных* цепочек *ПСС*. Подмножество цепочек *ПСС* можно *классифицировать* следующим образом. 1. Сведения, сообщения о чём-либо, передаваемые людьми (первоначальное традиционное понимание информации). 2. Уменьшаемая, снимаемая неопределённость в результате получения сведений о пропущенных *элементах* цепочек *ПСС* (по *вероятностно-статистической теории* информации). 3. Передача, *отражение* разнообразия цепочек *ПСС* (наиболее общая интерпретация *понятия* информации). Информация представляется в виде чертежей, рисунков, текста, звуковых и световых сигналов, энергетических и нервных *импульсов* и т.п. и передаётся сигналами какой-либо *физической природы* по линиям связи источника с получателем. Информация может носить непрерывный (аналоговый) или прерывный (дискретный) характер. Информация - основное понятие кибернетики. Кибернетика изучает машины и живые организмы исключительно с точки зрения их способности воспринимать определённую информацию, сохранять её, передавать по каналам связи, перерабатывать по соответствующему алгоритму и использовать. Интуитивное представление об информации *относительно* каких-либо *величин* или *явлений*, содержащейся в некоторых данных, в кибернетике ограничивается и уточняется.

К

Категория (< *нем.* Kategorie, *франц.* categorie <*греч.* **κατηγορα** - обвинение < *греч.* **κατηγορειν** - порицать, упрекать, обвинять. *М.Фасмер*; (1886-1962). [85]) - (*фил.*) *совокупность предметов, явлений*, субъектов, имеющая какие-либо общие и существенные свойства, признаки, *связи* и *отношения* (материя, время, пространство, движение, *причинность*, качество, количество, противоречие и т.д.).

Категории образовались в результате попыток философов выявить основные принципы бытия. Аристотель (**'Αριστοτελης**; 384-322 до Р.Х.) первый обобщил попытки предшествующей философской мысли выделить наиболее общие *понятия* о мире и способах его познания. Составленный им свод категорий включал такие категории, как *сущность* (субстанция), количество, качество, отношение, место, время, положение, *состояние*, действие и страдание. Аристотель утверждал, что категории наиболее высшие, логические понятия, под которые подводятся все остальные понятия, что они, по существу, "высказывания о сущем". Аристотель отрицал изменчивость категорий, он полагал, что категории не только вечны и неизменны, но и не переходят друг в друга, не превращаются во что-нибудь более общее. Кроме этого, классификация Аристотеля была неполная, например, отсутствовали категории содержание и *форма*, возможность и действительность, и др. Классификация Аристотеля оказала определяющее влияние на развитие учения о категориях вплоть до Иммануила Канта.

И.Кант (1724-1804) рассматривал категории как априорные формы мышления человека, характеризующие не мир "вещей в себе", а самого человека и *структуру* его мышления. Классификация категорий И.Канта включает в себя: качество (реальность, отрицание, ограничение), количество (единство, *множество*, цельность), отношение (субстанция и свойство, причина и действие, взаимодействие), модальность (возможность и невозможность, действительность и недействительность, необходимость и *случайность*).

Новый подход к *диалектике* категорий выдвинул Г.Гегель (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831). В основе его классификации идея о взаимосвязях и взаимопереходах категорий: бытие (качество, количество, мера), сущность (основание, явление, действительность. Действительность включает субстанцию, причину и взаимодействие), понятие (субъект, абсолютная идея, объект). Диалектический материализм рассматривает категории как результат обобщения опыта исторического развития познания и общественной практики.

Развитие *науки* и техники сопровождается трансформацией категорий, понятий и *терминов* (например, *информация*, *симметрия* из терминов превратились в категории). На основе результатов развития отдельных наук *система* категорий обобщает историю развития наук и способствует прогрессу познания мира. Современный этап развития науки характеризуется как появлением новых категорий в конкретных науках, так и превращением некоторых понятий в категории. Последнее наблюдается с теми понятиями, которые приобретают общенаучный характер (например, информация, саморегуляция, симметрия).

См. также *БЕЗКОНЕЧНЫЙ, Бесконечность, Величина, Выборка, Константа, Математическое ожидание, Множество, Определение, ОПРЕДЕЛЯТЬ, Оценка, Переменная, Причинность, Совокупность, Состояние, Состоять, Среднее, среднее значение, Функция.*

Квадратичное отклонение, квадратичное уклонение, *величин* x_1, $x_2, \ldots, x_n$ от a - квадратный корень из выражения:

$$\frac{(x_1-a)^2 + (x_2-a)^2 + \ldots + (x_n-a)^2}{n}. \qquad (К-1)$$

Наименьшее значение квадратичное отклонение имеет при $a=x_{ср}$, где $x_{ср}$ - *среднее арифметическое* величин $x_1, x_2, \ldots, x_n$:

$$x_{ср}=\bar{x}=\frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}. \qquad (К-2)$$

Употребляется также более общее *понятие* взвешенного квадратичного отклонения, определяемого как квадратный корень из выражения:

$$\frac{W_1(x_1-a)^2 + W_2(x_2-a)^2 +\ldots+ W_n(x_n-a)^2}{W_1 + W_2 +\ldots+ W_n}, \qquad (К-3)$$

где числа W_1, $W_2,\ldots$, W_n - веса, соответствующие величинам x_1, $x_2,\ldots$, x_n (число *наблюдений*, частота или $1/s^2{}_1$). Взвешенное квадратичное отклонение достигает наименьшего значения при a, равном взвешенному среднему. Такое представление о квадратичном отклонении соответствует использованию квадратичного отклонения в теории ошибок.

В *вероятностей теории* квадратичное отклонение $б_x$ случайной величины X (от её *математического ожидания*) определяют как квадратный корень из дисперсии $\sqrt{DX}$ и называют также стандартным отклонением величины X. Для любой случайной величины X с математическим ожиданием M_x и квадратичным отклонением $б_x$ *вероятность* отклонений X от M_x, больших по абсолютной величине $kб_x$, $k>0$, не превосходит $1/k^2$. В случае *нормального распределения* указанная вероятность при $k=1$ равна 0,3174, при $k=2$ равна 0,0456 и при $k=3$ равна 0,0027. В практических задачах, приводящих к нормальному распределению, отклонения больше, чем утроенный стандарт (квадратичное отклонение) практически невозможны или, другими словами, на практике пренебрегают возможностью отклонений от среднего, больших $3б_x$ (правило трёх сигма).

В *статистике математической* квадратичное отклонение употребляют как меру качества статистических оценок и называют в этом случае квадратичной погрешностью (ошибкой).

Квадратичное среднее см. *Середа, Среднее, среднее значение*, (С-15).

Комок (в *гидродинамике*) - *часть* твёрдой, *жидкой* или *газовой* фазы, которую в данный *момент* времени и в данной точке пространства можно рассматривать как единое целое. В гидродинамике *понятие* "комок" предложил В.Б.Коган [27], возможно, по *причине* многозначности понятия "*частица*". Комок - понятие *относительное*, *величина* комка жидкости зависит от масштаба расстояний и размеров *системы*. См. также *КОМЪ*, *Путь смешения*, *Турбулентное течение*.

"**КОМЪ** м., *комокъ*, *комочекъ*; *комишка*; *комища*; что либо смятое въ кучку; рыхлый обломокъ, кусъ, ломоть; жемокъ, мятушка. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872. [68]). См. также *Комок*.

Константа (*нем.* Konstante - постоянная величина, константа (от konstant - постоянный), *фр.* constante - константа < *лат.* constans, род. п. constantis - постоянный, неизменный, от constare - стоять твёрдо, оставаться неизменным; быть определённым, твёрдым, решённым, от con- - с-, вместе и stare - стоять) - постоянная величина. Постоянство величины x записывают x=*const*. Константу обычно обозначают буквами *K*, *C* или const. *Термин* "константа" более значителен, фундаментальнее, чем термин *коэффициент*. Например, мировая константа, но не мировой коэффициент. Как правило, константа - независимая постоянная величина. Но бывают исключения. Например, константа скорости химической реакции константой, по существу, не является, т.к. зависит от температуры. См. также *Коэффициент*, *Параметр*.

Концентрация (< *новолат.* concentratio, < *лат.* cun (com) - с, вместе (наряду) с, с помощью, при посредстве и centrum - центр, зёрнышко или узелок в объёме тела) - 1. Сосредоточение, скопление в одном месте или вокруг одного *центра*. 2. Способ выражения состава многокомпонентной *системы*: концентрация - размерная *физическая величина*, характеризующая *количество* вещества в единице объёма. Если в качестве количества берётся масса вещества, то концентрация называется массовой, единица измерения (в СИ) - *кг/м*^{3}. Если в качестве количества берётся число молекул (молей), то концентрация называется молярной, единица измерения (в СИ) - *моль/м*^{3}. Достаточно часто *безразмерные величины*, тоже характеризующие составы фаз, - массовая доля, объёмная доля, мольная доля - неправильно называют массовой, объёмной, мольной концентрацией.

Координаты (< *лат.* co (cum) - с, вместе с, {совместно} и ordinatus - упорядоченный, определённый; ordinatio - упорядочение, организация, определение.- *И.Х.Дворецкий*, *Н.Н.Андреева*. [72, 77]) - числа, определяющие положение точки на плоскости или в пространстве. Различают координаты прямоугольные (Декартовы координаты), полярные, географические, небесные и *параметрические* координаты.

Коэффициент (<*лат.* co (cum) - с, вместе с, {совместно} и efficiens (efficientis) - производящий, выполняющий) - числовой множитель при буквенном выражении, известный множитель при той или иной степени неизвестного или постоянный множитель при *переменной величине*, множитель, обычно выражаемый цифрами. Если произведение содержит одну или несколько переменных (или неизвестных) величин, то произведение всех постоянных, в том числе и выраженных буквами, также называется коэффициентом. Многие коэффициенты имеют особые названия, например, коэффициент диффузии, коэффициент трения, коэффициент теплопроводности, коэффициент гидравлического сопротивления т.д. Как правило, коэффициенты - переменные величины, зависящие от многих факторов. Например, коэффициент трения зависит от *режима* течения *жидкости*, шероховатости стенки, *формы* стенки и др. Коэффициент молекулярной диффузии вещества зависит от состава *среды*, температуры, а для *газов* и от давления. См. также *Константа*, *Параметр*.

"Критерий - это правило для применения других правил безотносительно к их правильности" (*Виктор Кротов*; р.1946).

Критерий (<*греч.* **κριτηριο** - критерий, признак, по которому можно судить верно) - мерило для определения *достоверности*, соответствия человеческого знания объективной реальности, а также признак, на основании которого производятся *оценка*, определение или классификация чего-либо, мерило оценки. В теории подобия *явления* считаются подобными в том случае, если они качественно одинаковы и определяющие критерии подобия (*безразмерные* комплексы, составленные из *физических* и геометрических *величин*, характеризующих эти явления) имеют равные значения. Определяющие критерии подобия являются основой постановки *экспериментов* и обработки результатов.

Критерий подобия - *мера относительной* интенсивности эффектов, существенных для данного *процесса*. В явлениях переноса это, в общем случае, соотношения количества движения (импульса), энергии и массы, переносимые движущимися *потоками* на *микро-* и *макроуровнях*. Критерии подобия включают также геометрические характеристики *аппаратов*, *физические* характеристики *среды* и другие *параметры*, существенные для *моделируемого* процесса. См. также *Пекле критерий продольного перемешивания*.

Кубическое среднее см. *Середа*, *Среднее*, *среднее значение*, (С-16).

Л

Ламинарное течение (< *лат.* lamina - лист, пластинка, лента) - упорядоченное течение вязкой *жидкости* (или *газа*), характеризующееся отсутствием перемешивания между соседними слоями жидкости. Траектория движения каждой *частицы потока* при ламинарном течении жидкости в некотором канале представляет собой непрерывную линию, *форма* которой подобна форме канала. Ламинарное течение жидкости описывается дифференциальными уравнениями Навье-Стокса (по имени франц. учёного Л.Навье (*L.Navier*; 1785-1836) и англ. учёного Дж.Стокса (*G.Stokes*; 1819-1903)):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x}; \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y}; \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right) + \left(g + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z}\right) \end{cases} \qquad (Л\text{-}1)$$

и дифференциальным уравнением неразрывности (*сплошности*) потока:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho \cdot \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) = 0. \qquad (Л\text{-}2)$$

В уравнениях (Л-1) члены $\partial w_x/\partial\tau$ характеризуют нестационарность течения жидкости, член $(w_x(\partial w_x/\partial x)+w_y(\partial w_x/\partial y)+w_z(\partial w_x/\partial z))$ и подобные ему характеризуют силы инерции в движущейся жидкости, член $\nu(\partial^2 w_x/\partial x^2+\partial^2 w_x/\partial y^2+\partial^2 w_x/\partial z^2)$ и подобные ему характеризуют силы вязкого трения, g – ускорение силы тяжести, а член $(\partial p/\partial x)/\rho$ – внешнюю силу, силу давления, которая и вынуждает жидкость двигаться. Другими словами, левая часть уравнений характеризует совокупное влияние сил инерции, вязкого трения и внешних сил на течение жидкости и, по существу, является ускорением.

Уравнение неразрывности потока (Л-2) констатирует факт непрерывности изменения плотности в *процессе* течения *жидкости*, а также отсутствие разрывов среды и флуктуаций плотности.

Поскольку уравнения (Л-1) разрешимы только в простейших случаях, их преобразуют *методами* теории подобия. Так, в частности, *соотношение* сил инерции и сил вязкого трения в потоке жидкости характеризуется *безразмерным* комплексом - *критерием* Рейнольдса $Re=wL\rho/\mu$, где w - средняя скорость потока, м/с, L - *определяющий* геометрический размер потока, м, ρ - плотность жидкости, кг/м^3, μ - *коэффициент динамической* вязкости, Па/с. Ламинарное течение устойчиво и практически осуществляется при значениях критерия Рейнольдса $Re=wL\rho/\mu<Re_{кр}$, где $Re_{кр}$ - так называемое критическое число Рейнольдса. При $Re>Re_{кр}$ ламинарное течение неустойчиво и под влиянием различного рода возмущений переходит в *турбулентное течение*. Ламинарное течение наблюдается в тонких (капиллярных) трубках, в слое смазки в подшипниках скольжения, в *пограничном слое* и т.д. См. также *Изоморфизм математический*, *Турбулентное течение*. Подробно см., например, [2, 4, 27, 36, 43, 47, 48, 50].

М

Макро... (< *греч.* μακραν, iон. μακρην, далеко, о времени: долго; μακρο - первая *часть* составных слов, означающая большой, долгий, длинный, много; μακροζ - длинный, большой, высокий, о времени: долго.- *А.Д.Вейсман;* р.1834 г. [66]), в русском языке - аналогично, соответствует по значению словам "большой", "крупных размеров" (например, макромолекула, макроструктура). См. также *Макроуровень*.

Макроуровень - масштаб расстояний, *соизмеримых* с масштабом *турбулентных пульсаций*, зерном катализатора, шлама, *частицей* (каплей) флюида, пузырьком *газа*, *величиной* насадки или ячеек, отверстий в соответствующих *аппаратах*, длиной свободного пробега *комка* (частицей) *жидкости*. Математические уравнения микроуровня дополняются при этом уравнениями, описывающими *процессы* тепло- и массообмена на макроуровне и в масштабе аппарата, узла, скважины. См. также *Макро...*, *Микроуровень*.

Математическая статистика см. *Статистика математическая*.

"Если вопрос задан правильно, ответ будет неожиданным." (*Авессалом Подводный*; р. 1953).

Математическое ожидание - *мера* центральной тенденции в рассеянии *случайной величины*, одна из важнейших характеристик *распределения вероятностей* случайной величины. *Понятие* математического ожидания случайной величины используется для теоретических построений при исследовании распределений вероятностей случайных величин и для решения различных задач.

Для дискретной случайной величины X, принимающей последовательность значений x_1, $x_2, \dots$, $x_i, \dots$ с вероятностями, равными соответственно p_1, $p_2, \dots$, $p_i, \dots$, математическое ожидание определяется формулой:

$$M_x = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i . \qquad (M\text{-}1)$$

В некоторых азартных играх математическое ожидание можно указать абсолютно точно (например, математическое ожидание результата бросания двух игральных костей - семь). Отличительной особенностью азартных игр является однозначно трактуемый результат: успех-неудача, целое число очков, характеристика карты и т.д.

Для непрерывной случайной величины математическое ожидание выражается формулой:

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x p(x) dx . \qquad (M\text{-}2)$$

Выражение (М-2) является математическим выражением *координаты* центра тяжести, т.е. M_x можно представить себе как абсциссу центра тяжести *массы*, расположенной под кривой, являющейся плотностью вероятности $p(x)$. Для физических *величин*, определяемых в результате *экспериментов*, математическое ожидание определить невозможно, его можно только *оценить*.

В научных и прикладных исследованиях математическое ожидание характеризует наиболее *вероятное значение* физической *величины*, получаемой в результате *экспериментального* определения, но оно отличается от моды, которая характеризует расположение максимума кривой $p(x)$. *Проблема* любого *наблюдения* и эксперимента заключается в том, что значение какой-либо характеристики *явления* или *процесса* абсолютно точно определить невозможно. По существу, все результаты экспериментов являются *случайными величинами*, имеющими то или иное *распределение вероятностей*. В результате многократных измерений физической величины получится *множество* значений, имеющих большее или меньшее рассеяние *относительно среднего значения*. Принято считать, что это среднее значение является *оценкой* неизвестного математического ожидания (истинного значения измеряемой величины).

Название "математическое ожидание" происходит от *понятия* "ожидаемого значения выигрыша" (математического ожидания выигрыша), впервые появившегося в *теории* азартных игр в трудах Б.Паскаля (1623-1662), П.Ферма (1601-1665) и Х.Гюйгенса (1629-1695) в XVII в. Они ввели понятие математического ожидания случайного *события* и использовали его для решения ряда задач, в том числе классической старинной задачи о разделе ставки в неоконченной игре. Понятие "математическое ожидание" в 1795 г. ввёл П.Лаплас (1749-1827). В полной мере это понятие было оценено и использовано в сер. XIX в. русским математиком П.Л.Чебышевым (1821-1894).

Исходы азартных игр по вполне понятным причинам выражаются целыми числами или двумя возможными взаимоисключающими исходами ("успехом" и "неудачей"), поэтому в ряде случаев математическое ожидание можно определить точно. Результаты наблюдений и экспериментов (за редким исключением) - числа действительные (вещественные), включающие в себя, помимо истинной физической компоненты, также ошибки случайные, систематические и грубые. По этим причинам в наблюдениях и экспериментальных исследованиях математическое ожидание - понятие достаточно абстрактное, и степень этой абстрактности связана как с асимметрией распределения ошибок измерения, так и с асимметрией распределения самой физической случайной величины.

Существует несколько способов оценки математического ожидания по результатам *выборки*, но только некоторые из них используются практически. В большинстве случаев важно знать *среднее значение выборки* или *совокупности*, которое удовлетворяло бы некоторому *критерию*, соответствующему физической *сущности* задачи. Наибольшее значение имеют четыре вида среднего значения - *мода*, *медиана*, *среднее арифметическое* и начальный *момент* первого порядка.

Максимуму кривой плотности вероятностей соответствует мода, это наиболее ***вероятный*** результат. Мода в статистике - то, что в обычной жизни называется массовым, типичным. Например, цена, по которой данный товар чаще всего реализуется на рынке.

Если распределение *асимметрично*, то иногда представляет интерес *медиана* - то значение случайной величины, которое делит распределение на две равные *части*. Другими словами, вероятности событий по обе стороны медианы одинаковы. Мода и медиана имеют больше теоретическое, чем практическое значение - для экспериментальной *выборки* моду и медиану вычислить непросто. Следующим средним значением является среднее арифметическое, его проще всех вычислить, и отчасти по этой *причине* оно нашло наиболее широкое применение. Кроме этого, в условиях *нормально* распределённых *ошибок наблюдений* арифметическое среднее имеет наименьшую *дисперсию*, точнее, арифметическое среднее является *состоятельной*, *несмещённой* и *эффективной* оценкой математического ожидания. В условиях асимметричных кривых распределения медиана расположена между модой и средним арифметическим (рис. 33).

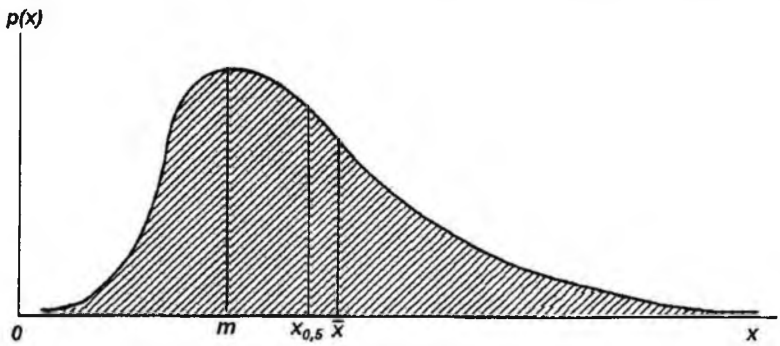

Рис.33. Различные оценки математического ожидания: мода, медиана, арифметическое среднее

Следует заметить, что кроме арифметического среднего в науке и технике применяют также: *арифметическое взвешенное среднее*, $x_{cp,w}$, *взвешенное степенное среднее*, $x_{w,\alpha}$, *гармоническое среднее*, x_h, *геометрическое среднее*, x_g, *квадратичное среднее*, x_s, *кубическое среднее*, x_{cub}, *арифметико-геометрическое среднее*, $x_{cp,g}$ и начальный момент первого порядка, m_1; при этом $x_h<x_g<x_{cp}<x_s<x_{cub}$.

Медиана (<*лат.* medianum - средняя часть, середина; medianus - находящийся посреди, средний, центральный), в теории *вероятностей*, - одна из числовых характеристик распределения вероятностей *случайной величины*. Для непрерывно распределённой случайной величины X строго монотонной функцией распределения $F(x)$ медиана m определяется как единственный корень уравнения $F(x) = 1/2$ (или как квантиль $K_{1/2}$), т.е. условием, что случайная величина X принимает с вероятностью 1/2 как значения, большие $x_{0,5}$, так и значения, меньшие $x_{0,5}$. В общем случае медиана определяется неоднозначно, но для любой случайной величины существует, по крайней мере, одна медиана; в симметричном случае медиана (если она единственна) совпадает с математическим ожиданием, если оно существует. В условиях *асимметричных* кривых распределения медиана расположена между *средним значением* и *модой* (рис.33).

"**МЕРА** ж. способъ определенья количества по принятой единице; *мера* вообще прилагается къ протяженью и къ *пространству*, а отвлечённо, вообще предѣлъ ино пора, срокъ. *Погонная, линейная мера* служитъ для означенья разстоянiй или величины *линiй*; *квадратная* - плоскостей; *кубическая* - телъ, толщи. *Мера сыпучихъ и жидкихъ телъ* определяется единицею емкости. *Мера* и *мерка хлебная* четверикъ, маленка, пудовка, по осьми на четверть; местами *(влгд.) мерою* называють осьминникъ, и даже *(кстр. буйс.)* три четверика. (...) || Предѣлъ, граница. (...) ***Мерочка***, умал. более употрб. какъ меньшая мера питiй: стаканчикъ, чарка. (...) ***Мерка*** умал. все, что служит для определенья величины, особенно въ работахъ; тесьма или бумажная лента, коею портные и сапожники *снимают мерку;* тесьма, бичевка или прутъ, с отметкою на немъ размеровъ вещи ипр. (...) ***Мерочный***, къ мерке (аршину, ведру ипр.) относящiйся. ***Мерить*** или ***мерять*** что, ***меривать*** *(мерить* и *меряю)*, измерять, определять по известной мере или мерке величину или качество. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68]. См. также *Мера множества, ОТНОСИТЬ, Отношение*.

"Может ли мерить вещи тот, у которого нет мерки даже для самого себя?" (*Плиний Старший* (*Гай Плиний Секунд*); 23/24-79 гг.).

Мера - философская *категория*, выражающая единство качественных и количественных характеристик предмета, *явления*. Мера отражает необходимую, закономерную *связь* количественной и качественной стороны объектов, *явлений* и *процессов* окружающего мира.

Каждый предмет или явление имеют качественные характеристики (*форма, состояние* (например, фазовое), цвет, блеск, вкус, чистота в самом широком смысле этого слова и т.п.) и количественные (масса, вес, состав, скорость, интенсивность, доля и т. д.). Количественные характеристики могут меняться в результате развития предмета, явления или воздействия на предмет других явлений или предметов. Мера показывает границу, за которой изменение количества влечёт за собой изменение качества предмета, или границу, за которой изменение качества ведёт к изменению количества. Мера играет большую роль в познании и в науке, в частности. Невозможно познать *процесс*, описать его *математической моделью* без изучения количественных и качественных характеристик, не исследовав их взаимосвязи и *взаимоотношения*. См. также *Мера множества, ОТНОСИТЬ, Отношение*.

Мера множества - обобщение *понятия* длины отрезка, площади плоской фигуры и объёма тела на *множества* более общей *природы*. См. также *Мера*.

Метод (*греч.* μεθοδος - научное исследование, способ исследования, *метод*) - подход к *явлениям природы* и общества, способ познания; путь теоретического или практического исследования явлений природы и общества; приём, последовательность действий.

Механика (*греч.* μηχανη, *дорически* μαχανα, *лат.* machina, вымысел, хитрость, кознь; орудие, сооружение, машина, ос. военная, осадная, театральная; *вообще* средство; *греч.* μηχανικος - изобретательный, хитрый, *позд.* механический, касающийся до машин; μηχανικη, *подр.* τεχνη - механика (*А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]). *Греч.* μηχανικος - "умелый" от μηχανη "орудие". (*М.Фасмер*; 1886-1962. [85])) - *наука* о движении *материальных тел* или их *частиц* (*комков*) в *пространстве* и происходящих при этом взаимодействиях между ними.

Исторически механизмами называют всевозможные машины, орудия, устройства, а под механикой подразумевают *классическую* механику Ньютона. В механике Ньютона исследуются движения *макроскопических* тел со *скоростями*, несоизмеримо малыми по сравнению со скоростью света в вакууме. С развитием науки, техники, технологии стали различать механику материальной *точки*, механику *системы* точек, механику *сплошных сред* (в т.ч. *гидродинамику, гидравлику, теорию упругости*, теорию *пластичности*, *реологию*), механику грунтов, механику сыпучих тел и т.д. Движения тел со скоростями, *соизмеримыми* со скоростью света, рассматриваются в теории *относительности*, а движение *газов* со скоростями, соизмеримыми со скоростью звука в аэродинамике и газодинамике. Движение космических тел изучается в небесной механике. Движение нейтронов, протонов, электронов и так называемых *элементарных* частиц изучается в квантовой механике.

В большинстве этих (и других) подразделов в конкретных случаях выделяют: *статику* - учение о равновесии тел под действием сил, *кинематику* - раздел механики, в котором изучаются геометрические свойства движения тел без учёта действующих на них сил, и *динамику* - учение о движении тел под действием сил.

Механика является одной из научных основ многих областей техники и технологии. Например, говорят о механизме сложных химических реакций, о механизме взаимодействия макромолекул и твёрдых частиц в коллоидных растворах и неньютоновских жидкостях, о механизмах вязкого трения, молекулярной и турбулентной вязкости, о механизмах диффузии, массопередачи, теплопередачи и др.

Микро... (< *греч.* μικρος - малый, небольшой (по объёму, росту, количеству, времени, качеству); незначительный.- *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]), [мк; μ] - 1. Приставка для образования наименования десятичной дольной единицы физической величины, соответствующая множителю 10^{-6}. Например, 1 мкм (микрометр)=10^{-6} м. 2. Составная часть сложных слов, означающая - очень малый, мелкий.

Микроуровень - масштаб расстояний, соизмеримый с длиной свободного пробега молекул. На этом уровне протекают химические реакции и диффузионные *процессы*. Если лимитирующей стадией *процесса* является химическая реакция и (или) диффузия, то говорят, что процесс протекает на микроуровне.

В первом случае различают ещё кинетическую и диффузионную область протекания химической реакции. Вообще, скорость диффузии намного меньше скорости химической реакции, и если скорость процесса определяется скоростью диффузии реагентов в зону реакции, то говорят, что процесс протекает в диффузионной области. Если реакционная смесь интенсивно перемешивается, в ней отсутствуют градиенты *концентраций* и температуры, то общая скорость процесса определяется скоростью химической реакции - процесс протекает в кинетической области. См. также *Макроуровень*.

"**МНОГІЙ**, великій числомъ, въ большомъ количестве; избыточный, изобильный; чаще употребл. во мн. числе: *многіе*, или как наречіе: ***много***, обильно, *юж. зап.* богато, *кал.* жуть, *сев.* дородно; в высш. степ. пропасть, бездна, вволю. (...) ***Множество*** ср. большое число, великое количество, много, въ избытке, обильно; страсть, тьма, пропасть, бездна, безъ числа. (...) ***Множить*** что умножать; увеличивать, усиливать; помножать, увеличивать кратно, в несколько разъ.(...)"(*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

"Множество - это соединение по сходству, создающее сущность из жизней, но не жизнь из сущностей." (*Виктор Кротов*; р.1946).

Множество - *совокупность* каких-либо однородных *элементов* или элементов, обладающих общим характеризующим свойством (например, результаты *экспериментов*, *наблюдений*, *событий*, буквы алфавита, библиотека книг, фонотека, музыкальный ансамбль, собрание, коллекция и т.п.). Множество - самое широкое по объёму *понятие* математики и математической логики. Множество можно задать двояко: если множество конечно, его можно перечислить (в нашем случае это значения *факторов* x_1, $x_2, \ldots,$ x_k или экспериментальные значения *функции* y_1, $y_2, \ldots,$ y_m), а можно дать правило для определения того, принадлежит ли рассматриваемый объект тому или иному множеству. Первое называется **перечислением** множества, второе - **описанием** множества. Интерес представляют также результаты расчётов по математической *модели*, которые также являются множеством.

В практике экспериментальных исследований и в *статистике математической* совокупность результатов измерений какой-либо физической *величины*, подверженной случайным ошибкам, также можно называть множеством. Для решения практических задач потенциально бесконечное множество значений физической величины интереса не представляет; практический интерес представляют те или иные характеристики *процесса* или *явления*. В этом случае конкретные результаты измерений (*выборка*) являются подмножеством бесконечной совокупности, по которым определяются необходимые *параметры*.

Множество точек плоскости с прямоугольными *координатами* (x, y), где $x \in X$, называется графиком *функции* $y=f(x)$.

Понятие множества ввёл в математику Г.Кантор (*Cantor Georg*; 1845-1918) в 80-х годах 19 в. ("Множество есть многое, мыслимое нами как единое"). В своей теории множеств Г.Кантор опирался на понятие актуальной, т.е. завершённой *бесконечности*. Канторовская теория множества исследовала общие свойства множеств, не зависящие от *природы* входящих в множество элементов. См. также *Информация*, *МНОГІЙ*.

Мода (<*лат.* modus - мера, величина, размеры, положение) - одна из числовых характеристик *распределения вероятностей случайной величины*. Для случайной величины, имеющей плотность вероятности $p(x)$, модой называется любая точка максимума $p(x)$ (рис. 33). Мода определяется и для распределений, не имеющих плотности. Распределения с одной, двумя или большим числом максимумов называются, соответственно, унимодальными (или одновершинными), бимодальными или мультимодальными. Для многовершинных распределений понятие моды теряет смысл. В *вероятностей теории* и *статистике математической* наиболее важными распределениями являются унимодальные распределения. Для унимодального и симметричного относительно некоторой точки a распределения мода равна a и совпадает с *медианой* и *математическим ожиданием*, если последнее существует. Мода в статистике - то, что в обычной жизни считается массовым, типичным. Примером моды является цена, по которой тот или иной товар чаще всего реализуется на рынке. В отличие от *среднего арифметического* вероятная ошибка определения моды поддаётся оценке в редких случаях. См. также *Среднее, среднее значение* и с. 25.

Моделирование - *метод* исследования объектов познания на их *моделях* с целью определения или улучшения их характеристик, рационализации способов их построения, управления ими и т.п. Объектами познания являются органические и неорганические *системы*, инженерные устройства, *процессы* - *физические*, химические, биологические, социальные, психические и др. В зависимости от *сущности* моделей выделяют физическое (предметное), знаковое (информационное) и *мысленное моделирование*. *Формы* моделирования чрезвычайно разнообразны и зависят от используемых моделей и сферы применения моделирования.

Физическим (предметным) называется моделирование, в ходе которого исследование ведётся на модели, воспроизводящей определённые геометрические, физические, *динамические* либо *функциональные* характеристики моделируемого объекта - оригинала. Частным случаем *моделирования физического* является аналоговое моделирование, при котором оригинал и модель описываются едиными математическими *соотношениями* (например, одинаковыми дифференциальными уравнениями). При аналоговом моделировании обычно используются электрические модели для изучения механических, гидродинамических, тепловых, акустических и др. *явлений*.

При знаковом моделировании моделями служат схемы, чертежи, формулы, предложения в некотором алфавите (естественного или искусственного языка) и т.п. Важнейшим видом такого моделирования является *математическое* (логико-математическое) моделирование, производимое выразительными и дедуктивными средствами математики и логики. Поскольку действия со знаками всегда в той или иной мере связаны с *пониманием* знаковых конструкций и их преобразований, построение знаковых (информационных) моделей или их фрагментов может заменяться мысленно-наглядным представлением знаков или операций над ними - **мысленным моделированием**.

По характеру той стороны объекта, которая подвергается моделированию, различают моделирование *структуры* и моделирование поведения объекта (функционирования, протекающих в нём процессов и т.п.). Это различие приобретает чёткий смысл в науках о жизни и в кибернетике. В науках о жизни разграничение структуры и функции *систем* живого принадлежит к числу фундаментальных методологических *принципов* исследования. В кибернетике акцент делается на моделировании функционирования систем.

См. также *Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, ИДЕЯ, Моделирование физическое, Модель экспериментально-статистическая, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Стохастический процесс, Структурная модель, Сущность.*

"При работе с представителями других наук важнее всего убедить их в том, что математика, в сущности, может весьма немного" (*Норберт Винер*, 1894-1964).

Моделирование математическое - исследование свойств реального объекта с помощью *математической модели* на аналоговой и/или цифровой вычислительной машине. При математическом моделировании исследование свойств объекта сводится к задаче изучения свойств математической модели, представляющей собой *систему* уравнений математического описания, отражающую моделируемое поведение оригинала. *Модель* с помощью определённого алгоритма позволяет прогнозировать это поведение при изменяющихся условиях *функционирования* объекта. В зависимости от целей математического моделирования и исходной информации об объекте моделирования и условиях его функционирования применяют различные по *форме* и *структуре* математического описания модели. К числу наиболее распространённых типов моделей относятся *де-*

терминированные, статистические и стохастические. Последние строятся на основе *вероятностных* представлений о *процессах* в объекте моделирования и позволяют прогнозировать его поведение путём вычисления *функций распределения* вероятностей переменных, характеризующих исследуемые свойства (при заданных функциях распределения вероятностей входных и возмущающих переменных). Важнейшая область применения стохастических моделей - математическое моделирование больших систем (агрегатов, технологических процессов, предприятий и др.).

Модели экспериментально-статистические строятся на основе *экспериментальных* данных, полученных с действующего объекта, и представляют собой системы отношений, связывающих значения выходных и входных переменных объекта. Вид этих соотношений обычно задаётся априорно, и определению подлежат лишь значения некоторых параметров в принятых зависимостях. Наилучшие результаты могут быть получены в тех случаях, когда допустимо планомерное варьирование входных переменных в желаемых пределах. При построении этих моделей необходимо применение аппарата *статистики математической*, поскольку на результаты экспериментов и измерений, как правило, накладываются случайные ошибки. Важнейшие области применения статистических моделей - планирование оптимальных условий экспериментов и описание функционирования отдельных *аппаратов* или участков производства для решения задач управления и оптимизации.

Детерминированные математические модели строятся на основе математически выраженных закономерностей, описывающих физико-химические процессы в объекте математического моделирования. Они позволяют однозначно определять значения переменных (которые характеризуют представляющие интерес свойства оригинала) для любой заданной совокупности значений входных переменных и конструктивных параметров объекта. Для расчётных исследований (вычислительного эксперимента) детерминированной модели реальных объектов, как правило, требуются средства вычислительной техники. Для успешного вычислительного экспериментирования необходимо уделить особое внимание разработке эффективных алгоритмов решения систем уравнений математического описания. При построении этих моделей важное значение имеют вопросы разумного сочетания необходимой сложности модели с допустимыми упрощениями. Слишком сложная модель, учитывающая *множество*, возможно, второстепенных факторов и *явлений*, может оказаться неприемлемой вследствие необходимости выполнения огромного объёма вычислений при решении входящих в неё уравнений. Возможна также потеря точности вследствие ограниченной точности численных методов. Применение упрощающих допущений и недостаточная точность описания некоторых явлений в объекте математического моделирования приводят к необходимости проверки математической модели на адекватность. Адекватность математической модели и оригинала проверяется путём сравнения экспериментальных данных с результатами математического моделирования с привлечением методов проверки статистических гипотез. При неудовлетворительной адекватности корректируются или собственно математическая модель путём изменения количества и качества входящих в неё уравнений, или значения параметров, входящих в математическую модель. Важнейшие области применения математического моделирования - моделирование, проектирование и оптимизация отдельных *аппаратов* и технологических схем.

См. также *Детерминизм*, *Детерминированный процесс*, *Детерминистичность математической модели*, *Моделирование*, *Моделирование мысленное*, *Модель*, *Модель математическая*, *Модель экспериментально-статистическая*, *Мысленная модель*, *Мысленный эксперимент*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Связь*, *Следствие*, *Структурная модель*, *Сущность*, *Эмпирическое распределение*.

"Сознание - это такое бытие, для которого в его бытии существует сознание небытия его бытия." (*Жан Поль Сартр*, 1905-1980).

Моделирование мысленное - *процесс* создания человеком в своём разуме *детерминированно-стохастической модели* интересующего его объекта, субъекта, *явления*, *события*, *процесса* и т.п. *Понимание*, по существу, означает создание адекватной *мысленной модели*. В *норме* мысленная модель может создаваться по аналогии или с помощью моделей низшего уровня.

Не будет преувеличением утверждение, что мысленное *моделирование* едва ли не самое важное моделирование в исторической перспективе и познавательной ценности. *Мысленные модели* - это модели, создаваемые в разуме человека и изучаемые его же мысленным взором. В рассматриваемом аспекте можно утверждать, что человек всю жизнь *наблюдает* реальность, *анализирует* процессы, происходящие в мире, выявляет *причинно-следственные связи*, строит мысленные модели и принимает решения на основе *мысленных экспериментов*. В этом плане познавательные способности мысленного моделирования безграничны и *понятие* "мысленное моделирование" становится настолько широким, что под него подпадает существование и развитие цивилизации вообще. Например, реконструкция развития нашей цивилизации на основании исторических, археологических, астрономических данных, *прогнозирование* политических, социальных и экономических процессов, развития науки и техники, наконец, более конкретно - модель супруга, модель семьи, модели сотрудников и т.д.

Модели поведения - это, естественно, мысленные модели, передаваемые генетически (модели поведения, сохраняющие популяцию) или приобретаемые в течение жизни (воспитание, учение, тренинг, дрессировка, социальный конформизм). Простейший пример утраты модели родительского поведения: в современных деревнях редко можно увидеть курицу с выводком цыплят - наседок вытеснили инкубаторские курицы, в мозге которых не сформированы модели насиживания яиц и воспитания цыплят (известно, что модели поведения формируются в самом раннем возрасте). Модели поведения в семье передаются генетически и формируются в раннем детстве. Молодые супруги строят свои семьи по тем моделям семьи, которые были сформированы ими в самом раннем детстве. Те, у которых приобретённых моделей нет (например, выросшие в детском доме), строят семьи на основе социальных норм и правил. Пожившие люди строят свои новые семьи, ориентируясь на генетически обусловленные модели поведения супруга, понимая, что взрослого человека (и не только взрослого...) не перевоспитать.

Впечатляют срубовые дома северного типа, где собственно дом, хлев, конюшня, амбар и другие хозяйственные помещения объединены под одной крышей. Прежде чем начать постройку такого дома, крестьянин должен был создать в своей голове его подробную модель. Другой пример: каменотёс прежде чем начать скалывать с глыбы мрамора "всё лишнее", должен создать в своей голове мысленную модель будущей статуи. Есть пределы мысленного моделирования - человек не может создать в своём разуме модель многомерного пространства.

См. также *Анализ*, *ИДЕЯ*, *Моделирование математическое*, *Моделирование физическое*, *Модель математическая*, *Мысленный эксперимент*, *Определение*, *ПОНИМАТЬ*, *Понятие*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Связь*, *Синтез*, *Следствие*, *Структурная модель*, *Структурность*, *Сущность*.

"Выше всех умозрительных знаний и искусств стоит умение производить опыты, и эта наука есть царица наук" (*Роджер Бэкон*; 1214-1292 г.).

Моделирование физическое - *метод* изучения объекта, *явления*, *процесса* путём *экспериментального* исследования его *модели*, имеющей ту же физическую *природу*, но другие компоненты и масштабы. В науке любой эксперимент, производимый для исследования тех или иных закономерностей изучаемого явления или для проверки правильности и границ применимости найденных теоретическим путём результатов, по существу представляет собой физическое моделирование, т.к. объектом эксперимента является конкретная модель, обладающая необходимыми физическими свойствами, а в ходе эксперимента должны выполняться основные требования, предъявляемые к *моделированию*. В технике физическое моделирование используется при проектировании и сооружении различных объектов, для определения на соответствующих *моделях* тех или иных свойств (характеристик) как объекта в целом, так и отдельных его частей. В основе физического моделирования лежат теория подобия и анализ размерностей.

См. также *ИДЕЯ*, *Моделирование математическое*, *Моделирование мысленное*, *Модель математическая*, *Мысленная модель*, *Мысленный эксперимент*, *ПОНИМАТЬ*, *Понятие*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Связь*, *Следствие*, *Структурная модель*, *Сущность*.

Модель (*франц*. modele, *итал*. modello, <*лат*. modulus - *мера*, образец, *норма*) - отражение реального объекта в сознании человека, на бумаге и в пространстве. Модель в логике и методологии науки - аналог (схема, *структура*, знаковая *система*) определённого фрагмента *природной* или социальной реальности, порождения человеческой культуры - оригинала модели. Этот аналог служит для хранения и расширения знания (*информации*) об оригинале, конструирования оригинала, преобразования и управления им. Различают модели *физические*, *математические* (знаковые, символьные) и *мысленные*.

Физическая модель - устройство, установка, *система* машин или *аппаратов* и т.д. Первые и последние *физические* модели в жизни человека - игрушки. Человек играет всю жизнь - "Ребёнок играет куклой, кошка - мышью, а всяк - любимою мечтою".

Математическая модель - описание компонентов и *функций*, отображающее существенные свойства какого-либо объекта, *процесса* или *явления*.

Мысленная модель - образ, создаваемый человеком в своём разуме и изучаемый его же мысленным взором. Мысленные модели, по существу, - модели *детерминированно-стохастические*. Подробнее см. *Моделирование мысленное, Мысленная модель*.

См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, ИДЕЯ, Изоморфизм математический, Моделирование, Моделирование математическое, Модель экспериментально-статистическая, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Сущность, Форма*.

Модель детерминированно-стохастическая *структуры потоков* - *модель* течения любой *жидкости*, *детерминистическая* по *существу*, по *процедуре* вывода путём рассмотрения баланса вещества (*трассера*) в *элементе* объёма *сплошной среды*, протекающей через технологический объект (*аппарат*, трубопровод, скважину) и *стохастическая* по *множеству значений* её первичных *параметров* (*моментов распределения*), связанных с конкретным аппаратом (трубопроводом, скважиной), *средой* и режимом. В этих моделях основной переменной величиной является *концентрация* вещества (*трассера*), а собственно параметрами являются *среднее* время пребывания τ_{cp}, число ячеек n, коэффициенты продольного D_l и поперечного перемешивания D_r и доли потока, не участвующие в основном течении.

Детерминированно-стохастическими моделями являются: ячеечная модель (4.10), (4.11) и диффузионные модели (4.13) и (4.17). В отличие от *моделей детерминистических структуры потоков* параметры детерминированно-стохастических моделей независимым путём определить невозможно. Параметры связаны с конструкцией аппарата, со свойствами среды и режимом. Изменение любого из них вызовет изменение параметров модели. Процесс развивается во времени и пространстве.

Дело в том, что будучи приложимы к реальному аппарату и результатам его испытания *методом* возмущений, детерминированно-стохастические модели приобретают индивидуальность по первичным параметрам - начальным и центральным *моментам* распределения *частиц* потока по времени пребывания в объекте и производным - среднего времени пребывания, числа ячеек n, коэффициентов продольного D_l и поперечного перемешивания D_r. Более того, *функция отклика* позволяет определять объём застойных зон, интенсивность струйного течения, внутреннего байпаса и т.д., пробовать комбинации разных моделей. В этом случае можно говорить о множественности *математического* описания технологического объекта (аппарата, трубопровода, скважины).

Детерминированно-стохастические модели структуры потоков широко применяются в технологических процессах для определения фактической структуры потоков, корректировки режимов и в научных исследованиях.

Необходимо также отметить, что в уравненях структуры потоков нет физических характеристик среды - вязкости, плотности, которые есть в детерминистических моделях течения жидкостей. Эти модели универсальны. Модели течения жидкости (4.4), (4.5), (4.6), (4.9), (4.10), (4.11), (4.13), (4.17) позволяют относительно легко *формализовать* уникальность аппарата, трубопровода, скважины.

См. также *Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Модель, Модель детерминистическая структуры потоков, Модель математическая, Модель экспериментально-статистическая, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Сущность, Явление.*

Модель детерминистическая *структуры потоков* - *модель* течения ньютоновской *жидкости,* описывающая *физическую сущность процесса.* Например, модель течения *идеальной* жидкости Эйлера (И-1), вихревого течения идеальной жидкости Громеки (И-2), дифференциальные уравнения течения любых жидкостей в напряжениях (С-2)-(С-4), дифференциальные уравнения *ламинарного течения* Навье-Стокса (Л-1) и (Л-2), уравнения Рейнольдса в напряжениях для *турбулентного течения* (С-23), (Т-1) и др. Эти модели структуры потоков *детерминистические* по *существу,* по процедуре их вывода путём рассмотрения баланса количества движения в *элементе* объёма *сплошной среды,* протекающей через технологический объект (*аппарат,* трубопровод). В этих моделях основными переменными величинами являются проекции вектора скорости w_x, w_y, w_z на оси декартовой системы координат, а *параметрами* являются вязкость и плотность *среды,* определяемые независимым путём. Модели не накладывают ограничений на скорость течения жидкостей, вязкость и плотность. Детерминистические модели структуры потоков справедливы для любого технологического аппарата, другими словами, в них нет параметров, *связанных* с конкретным объектом. Единственное ограничение - неразрывность *потока* (*сплошность среды*) (И-9), (Л-2), (С-1), (С-5), (С-6), (С-22). Процесс развивается во времени и пространстве. Эти модели имеют важное, но только теоретическое значение и не могут быть непосредственно использованы для расчёта реального аппарата или коррекции *режима* в нём.

См. также *Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Моделирование математическое, Модель детерминированно-стохастическая структуры потоков, Модель математическая, Модель экспериментально-статистическая, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Явление.*

Модель математическая - описание требуемых свойств реального объекта (оригинала), включающее в себя интегральные (алгебраические), дифференциальные уравнения, *статистические* зависимости, *функции распределения вероятностей* входных и возмущающих переменных, функции распределения вероятностей переменных, характеризующих исследуемые свойства объекта.

См. также *Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование мысленное, Моделирование физическое, Модель, Модель экспериментально-статистическая, Мысленная модель, Мысленный эксперимент, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Стохастический процесс, Структурная модель, Сущность, Явление.*

"Лучше решать правильно поставленную задачу неправильным методом, чем неправильно поставленную задачу правильным методом" (*Ричард Хэмминг*).

Модель экспериментально-статистическая - *уравнение* регрессии вида:

$$\hat{y}=b_0+\sum_{j=1}^{k}b_jx_j+\sum_{\substack{l=1\\m=2\\l\neq m}}^{k}b_{l.m}x_lx_m+\sum_{j=1}^{k}b_{jj}x_j^2+\sum_{j=1}^{k}b_{jjj}x_j^3\ldots, \qquad (\text{М-3})$$

или

$$\hat{y}=\sum_{j=0}^{k}b_jx^k \qquad (\text{М-4})$$

где $\hat{y}$ - *аналитическая функция*, т.е. функция, полученная в результате анализа результатов *экспериментов*, x_1, $x_2, \ldots,$ x_k - *независимые* переменные или *факторы*, а b_0, b_j, $b_{l,m}$, b_{jj} - *коэффициенты* уравнения. *Математические модели* вида (М-3), (М-4) находят применение в практике научных исследований, при решении задач оптимизации и в автоматизированных системах управления технологическими процессами, в тех случаях, когда не важен учёт *сущности*, *структуры* объекта, *процесса*, *явления*, а важна только *формальная* зависимость аналитической функции y от факторов x_j

$$y=f(x_1,\ x_2, \ldots,\ x_k). \qquad \text{(М-5)}$$

Реальный объект при таком подходе рассматривается как "чёрный ящик" в котором есть **входы** x_j и **выходы** y_j. С точки зрения адекватности модели и оригинала, чем этот "чёрный ящик" будет ***светлее***, тем лучше, иначе можно не отличить вход от выхода. В таком подходе есть определённое удобство - можно получить математическую модель сложного или неизученного процесса путём одновременной фиксации *экспериментальных* значений функции y, факторов x_j и последующей обработки данных численными методами. Парадоксально, но факт - сложный объект достаточно просто описать *статистической* моделью. Практическая ценность *экспериментально-статистических моделей* заключается в *относительной* простоте получения уравнения регрессии и потенциальной возможности описания процесса любой сложности. Основные недостатки - формальность описания (физический смысл коэффициентов b_0, b_j, $b_{l,m}$, b_{jj} крайне ограниченный), невозможность экстраполяции и незначительный вклад в познание физической сущности процесса. Необходимо добавить, что бывают случаи, когда даже интерполяция невозможна - уравнение адекватно только "в узлах таблицы". Самый главный недостаток *эмпирического* метода - уравнение несёт минимум информации о *структуре* системы, о сущности процессов, происходящих в ней. Примерами использования уравнений вида (М-3) и (М-4) в науке и технике являются формулы зависимости физико-химических характеристик индивидуальных веществ от температуры:

$$\rho=a+bT+cT^2+dT^3, \qquad \text{(М-6)}$$

$$c_p=a+bT+cT^2+dT^3, \qquad \text{(М-7)}$$

зависимости *коэффициента* трения от режима течения *жидкости* для гладких труб:

$$\lambda=0,316/Re^{0,25}, \qquad (М-8)$$

зависимости *безразмерного* коэффициента теплоотдачи (критерия Нуссельта) от режима течения и теплофизических свойств жидкости:

$$Nu=0,021\cdot Re^{0,8}\cdot Pr^{0,43}\left(\frac{Pr}{Pr_{ст}}\right)^{0,25}, \qquad (М-9)$$

а также (Д-7), (Д-8), (Д-10).

С точки зрения обобщения, развития теории и прогресса в прикладных областях *детерминистические* (*структурные*) модели - основа. С другой стороны, статистические методы необходимы при первичном анализе данных, при обработке экспериментальных результатов, для выявления значимых и незначимых факторов и т.д. Другими словами, *мысленная* модель, структурная модель - цель, а статистические методы - средство, инструмент исследователя. Этот же момент можно формализовать по другому. *Экспериментально-статистический метод* - **способ, приём, техника,** а построение структурной модели - путь научного познания, творческий процесс, искусство, здесь есть стиль исследователя, "авторский почерк", подход. "Теория и практика образуют одно целое, и, как душа и тело, они зачастую не согласны между собою." (*Мари Эбнер-Эшенбах*; 1830-1916).

См. также *Детерминизм, Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование мысленное, Моделирование физическое, Модель, Модель детерминистическая структуры потоков, Модель математическая, Мысленная модель, Мысленный эксперимент, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Стохастический процесс, Сущность, Явление.*

"**МОМЕНТЪ** м. мигъ, мгновение, минтъ; || пора, срокъ, короткое, срочное время. ***Моментъ силы***, въ механике: произведение силы на отвес. - *инерцiи*, косность, сила сопротивленья тела движению. ***Моментальный***, минутный, миговой, мгновенный." (В.И.Даль; 1801-1872) [67].

Момент (<*лат.* momentum - движущая *сила*, толчок, побудительное *начало*, мгновение, момент; вес, важность, значение < movere - двигать) - 1. (*физ.*) Момент *силы*, момент *инерции*, момент *количества* движения, угловой момент. 2. (*мат.*) Одна из *числовых* характеристик *распределения вероятностей случайной величины*. Начальным моментом *порядка* β (β>0, целое) непрерывной случайной величины X называется выражение:

$$m_\beta=\int_{-\infty}^{+\infty} x^\beta p(x)\,dx. \qquad (\text{M-10})$$

Начальный момент первого порядка, или первый начальный момент, характеризует *математическое ожидание* случайной величины. Математическое ожидание определяет положение центра, вокруг которого группируются все возможные значения случайной величины:

$$\mathrm{M_x}=m_1=\int_{-\infty}^{+\infty} x p(x)\,dx. \qquad (\text{M-11})$$

Оценка математического ожидания для непрерывной случайной величины определяется формулой:

$$\mathrm{M_x}\approx m_1=\int_{x_1}^{x_n} x p(x)\,dx. \qquad (\text{M-12})$$

Примечание: в формуле (M-12) знак "≈" поставлен потому, что в результате эксперимента получают *выборку* из *совокупности*, и в этом случае начальный момент первого порядка будет являться одной из возможных оценок математического ожидания (см. также *Эмпирическое распределение*).

Центральным моментом β-того порядка для непрерывной случайной величины называется выражение:

$$\mu_\beta=\int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mathrm{M_x})^\beta p(x)\,dx. \qquad (\text{M-13})$$

Второй центральный момент характеризует рассеивание случайной величины относительно среднего значения и называется *дисперсией*, обозначаемой $s^2{}_\mathrm{x}$. Для непрерывной случайной величины определяется формулой:

$$\mu_2=\int_{-\infty}^{+\infty} (x-\mathrm{M_x})^2 p(x)\,dx=s^2{}_\mathrm{x}. \qquad (\text{M-14})$$

Аналогично вычисляют моменты более высокого порядка.

Имеется прямая аналогия моментов в *вероятностей теории* с моментами, играющими важную роль в механике: момент первого порядка (математическое ожидание M_x) аналогичен *статическому* моменту, центральный момент второго порядка μ_2 (дисперсия s^2) - моменту инерции, соответствующей формулой определяется момент распределения масс.

Кроме значения *термина технического, специального* момент также имеет *понятийное* содержание, а именно: 3. Миг, мгновение, краткий интервал времени, в течение которого что-либо случается или происходит какое-либо явление. 4. *Точка отсчёта*, начало отсчёта в эксперименте, в процессе, в жизни. 5. Обстоятельство, отдельная сторона какого-либо явления, процесса, события. 6. А также **момент истины** и **текущий момент**. См. также *Система отсчёта*, *Среднее, среднее значение*.

Моментов метод в *теории вероятностей* - *метод* нахождения *распределения вероятностей* по его *моментам*.

В *математической статистике* метод моментов - это один из общих методов нахождения *статистических оценок* для неизвестных *параметров* распределений по результатам *наблюдений*. Метод моментов был использован в 1894 г. для этих целей К.Пирсоном (*Pearson Karl*; 1857-1936) при решении задачи аппроксимации эмпирического распределения с помощью системы распределений Пирсона. Подробно см. раздел 2. *Метод моментов*.

"Мысль - мать деятельности, она живая душа её, не только зачинщица её, но и охранительница. Мысль поэтому служит основанием, началом и сокровеннейшей сущностью всей человеческой жизни на земле." (*Томас Карлейль*; 1795-1881).

Мысленная модель - образ, создаваемый человеком в своём разуме и изучаемый его же мысленным взором. Например, древняя идея гелиоцентризма Аристарха Самосского ('Αρίσταρχος; кон. 4 в. - 1-я пол. 3 в. до Р.Х.), *модель* атома Э.Резерфорда (*E.Rutherford*; 1871-1937), модель молекулы А.Бутлерова (1828-1886), модель собственного тела (достаточно сложная - между кончиком пальца и любой точкой тела очень даже значительное число степеней свободы), модель семьи, модель коллектива, модель мира... Это примеры создания мысленных моделей в результате *анализа* реальных объектов. *Мысленный эксперимент* на мысленной модели и последующий анализ позволяют прогнозировать развитие *процессов, событий, явлений*, создать реальный объект или *физическую модель* для получения *достоверного*, количественного знания. В рассматриваемом аспекте можно утверждать, что *моделирование мысленное* первично, а физическое - вторично. Физические и математические модели создаются в исследовательских, познавательных, технических, *технологических* или спортивных целях. Мысленное моделирование, по существу, содержание жизни человека. Мысленные модели - модели *детерминированно-стохастические*. Акт *понимания*, по существу, - процедура создания в разуме адекватной мысленной модели. Принципиальное значение имеет интеллектуальная среда - среда, способствующая мышлению. Ценность человека для общества определяется тем, как и какие мысленные модели строит человек.

См. также *Определение, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Синтез, Следствие, Структурная модель, Сущность, Форма, Явление*.

"Математика - самый короткий путь к самостоятельному мышлению." (*Венеамин Каверин* (*Зильбер*); 1902-1989).

Мысленный эксперимент - мысленный анализ *событий, явлений, процессов* человеком с целью создания в своём разуме адекватной *детерминированно-стохастической модели*. Принятие решений, осуществление действий и прогнозирование развития событий осуществляется человеком с помощью созданной им же в своём разуме детерминированно-стохастической модели.

См. также *Моделирование, Моделирование мысленное, Модель, Мысленная модель, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Сущность*.

Н

"Испокон веков наблюдения были достаточно убедительны только для тех, кто способен рассуждать и желает знать истину." (*Галилео Галилей*; 1564-1642).

Наблюдение (*лат.* observatio) - *метод* исследования предметов и *явлений* реальности в том виде, в каком они существуют и происходят в *природе* и обществе. Наблюдение отличается от простого восприятия *информации* наличием цели и активной позицией наблюдателя. "Наблюдения - это история естественных наук" (*Шарль Луи Монтескье*;

1689-1755). Наблюдение отличается и от *эксперимента* отсутствием активного управляющего воздействия на явление или *процесс*. Наблюдение - это фиксация характерных признаков предмета или развития явления в *пространстве* и/или во *времени*. Ярким примером является древнейшая наука - астрономия. Можно также упомянуть наблюдателей на выборах, экологов, социологов, археологов, историков и т.д.

"**Натура** ж., *лат.* [natura], природа, все созданное, особ. на земле нашей; созданье, творенье; сотворенное, все вещественное вкупе; || силы природы, проявленье ихъ, естество; все подлежащее чувствамъ, плотское; свойство, качество, принадлежность, особность; бытъ, природное, прирожденное; [||телосложенiе, характеръ] (...) **Натуральный**, естественный, природный, самородный, неискусственный, неделанный. (...) *Натуральныя числа* (арифм.) природныя, порядковыя: 1, 2, 3 ипр. *Натуральныя исторiя*, ученье о трёхъ царствахъ природы, объ ископаемых, растеньях, животныхъ; естествословiе, наука о природе. (...)" (В.И.Даль; 1801-1872) [69]. См. также *ПРИРОДА*.

"**НАУКА** ж. ученье, выучка, обучение. (...) || чему учатъ или учатся; всякое ремесло, уменье и знанiе; но вь высш. значен. зовутъ такъ не один только навык, а разумное и связное знанiе: полное и порядочное собранье опытныхъ и умозрительныхъ истинъ какой-либо части знанiй; стройное, последовательное изложенье любой отрасли, ветви сведенiй. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

"То, что мы знаем, ограниченно, а то, чего мы не знаем, - бесконечно" (*Пьер-Симон Лаплас*; 1749-1827).

Наука (*укр.* наука, *блр.* навука < *др.-русск.* укъ "учение", учити) - 1. Сфера человеческой деятельности по получению и *систематизации* объективных знаний о действительности. 2. Картина мира на каком-либо этапе развития цивилизации, *совокупность* знаний о *природе*, обществе и мышлении. 3. *Понятие* для *обозначения* отдельных отраслей знания.

Научная истина не зависит от людей: "Наука на имеет морали. Природе не известны законы этики." (*Питер Дюсберг*). "Наука никогда не даст объяснение мира. Никто не объяснит мироздания, ибо мироздание - всего лишь мифологический термин. Как определить понятие того, что ничему не противостоит, ничто не отрицает, ни на что не похоже? Будь оно на что-либо похоже, оно не было бы всем." (*Поль Валери*; 1871-1945). См. также *Закон*, *Физика*.

Неразрывность потока см. *Сплошности потока уравнение*. См. также *Изоморфизм математический*, *Ламинарное течение*, *Сплошная среда*, *Структура потока*.

Несмещённая оценка - *статистическая оценка параметра распределения вероятностей* по результатам *наблюдений*, лишённая систематической ошибки. Например, если результаты наблюдений x_1, $x_2, \ldots, x_n$ являются взаимно независимыми *случайными* величинами, имеющими одинаковое *нормальное распределение*, заданное плотностью:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi б^2}} \cdot e^{-(M_x-x)^2/2б^2} \tag{Н-1}$$

с неизвестными параметрами M_x и $б^2$, то *среднее арифметическое*:

$$\bar{x}=(x_1+x_2+\ldots+x_n)/n \tag{Н-2}$$

будет несмещённой оценкой для M_x. Используемая ранее для оценки $б^2$ выборочная *дисперсия*:

$$s_x^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_1-\bar{x})^2 \tag{Н-3}$$

не является несмещённой оценкой, так как среднее арифметическое само зависит от *элементов выборки*. Для устранения смещения оценки нужно *степеней свободы число* в выражении для $s^2{}_x$ уменьшить на единицу. Несмещённой оценкой для $б^2$ служит:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_1-\bar{x})^2. \tag{Н-4}$$

"**НОРМА** ж. лат. общее правило коему должно следовать во всехъ подобныхъ случаяхъ; образецъ или примеръ. ***Нормальное*** *состоянье*, обычное, законное, правильное, не выходящее изъ порядка, не впадающее ни в какую крайность. *Нормальный весъ, мера*, принятые за общее где либо правило и служащiе основаньем; единица веса и меры. *Нормальная*, в математ. прямая черта, проходящая черезъ точку касанiя и отвесно къ касательной. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67].

"Норма - то, что встречается лишь изредка." (*Сомерсет Моэм*; 1874-1965).

Норма (<*лат.* norma - руководящее начало, правило, образец, *норма*) - 1. Узаконенное установление, признанный обязательным порядок, строй чего-либо. 2. Установленная *мера*, *средняя величина* чего-либо. Норма - в некоторой степени *относительное понятие* (этимологически, *термин*), например, *случайность* (ошибки) в *эксперименте* - норма, в психологии норма - относительна.

Нормализация - 1. Установление *нормы*, образца. 2. Приведение к норме, к нормальному *состоянию*, урегулирование. 3. Вид термической обработки стали. 4. Нормализация или *нормирование переменных* - преобразование переменных (температура, давление, *концентрация* и так далее) к нормированному виду, при котором все переменные, независимо от *физической сущности* и *величины*, изменяются в пределах от нуля до единицы. См. также *Величина параметрическая*, *Приведение переменных*.

Нормальное распределение, распределение Гаусса - предельный закон *распределения событий*, *явлений*, являющихся результатом действия *множества детерминированных факторов* (*причин*, случайно сочетающихся), каждый из которых по интенсивности не выделяется на фоне других. Хаос и *динамичность* в *причинно-следственных связях* и их результат математически выражаются экспоненциальной *функцией*:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi б^2}}\, e^{-(x-M_x)^2/2б^2}, \qquad (Н\text{-}5)$$

где $p(x)$ - плотность *вероятностей случайной величины* X, M_x - *математическое ожидание* случайной величины X, $б^2$ - генеральная *дисперсия*. Математическое ожидание и дисперсия полностью определяют расположение и *форму* кривой $y=f(x;\ M_x,\ б)$ (рис. 34). Классическими примерами распределения событий, подчиняющихся закону нормального распределения как точного, являются *закон* распределения ошибок наблюдений и закон распределения скоростей молекул.

График плотности нормального распределения называется нормальной кривой или кривой Гаусса (*Gauss Carl Friedrich*; 1777-1855), (Рис. 34).

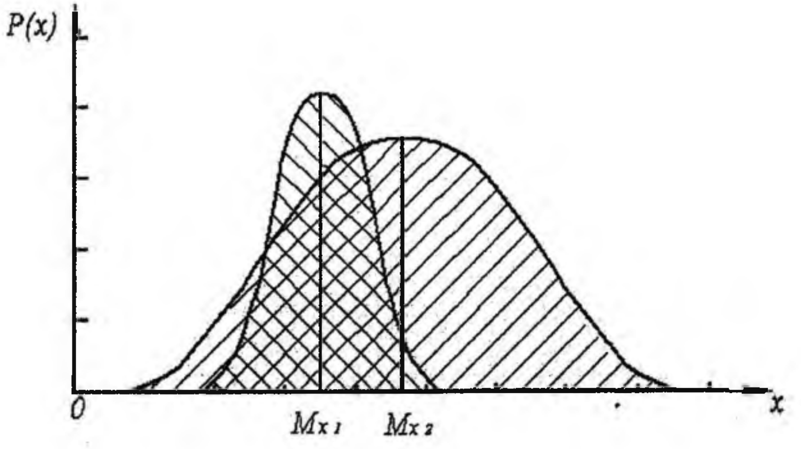

Рис.34. Графики плотности нормального распределения для различных значений математического ожидания и дисперсии

Кривая нормального распределения $y=f(x;\ M_x,\ б)$ *симметрична* относительно ординаты, проходящей через точку $x=M_x$, и имеет в этой точке единственный максимум, равный $1/\sqrt{2\pi б^2}$. Квадратный корень из дисперсии называется *стандартным отклонением*. Обозначается греческой буквой б. Симметричное распределение вероятностей случайной величины будет подчиняться закону нормального распределения, если в *интервале* $M_x-б<X<M_x+б$ будет находиться 0,683 значений случайной величины, в интервале $M_x-2б<X<M_x+2б$ - 0,954 значений, а в интервале $M_x-3б<X<M_x+3б$) - 0,997 значений. Перегибы кривой наблюдаются при значениях $x=M_x-б$ и $x=M_x+б$. Площадь, заключённая под кривой нормального распределения, равна единице.

Закон нормального распределения вероятностей очень важен и достаточно широко распространен в *природе*. По сравнению со всеми другими распределениями случайных величин он наиболее глубоко разработан теоретически. Множество событий, происходящих в природе, происходят *случайно* в результате одновременного влияния на развитие события большого *числа* независимых детерминированных причин (факторов), из которых максимальная по *величине* мала по сравнению со всей суммой. Достаточно часто нормальное распределение является предельным законом для суммы большого числа детерминированных воздействий, каждое из которых подчинено своему закону распределения. По сравнению со всеми другими распределениями нормальное распределение содержит меньше *информации* о *явлении*, чем любое другое распределение с тем же *средним значением* и дисперсией. Другими словами, замена исследуемого распределения эквивалентным нормальным не может привести к переоценке точности *наблюдений*.

Согласно закону нормального распределения вероятность того, что случайная величина примет значение в интервале $M_x - \sigma < X < M_x + \sigma$ равна 0,683, вероятность попадания в интервал $M_x - 2\sigma < X < M_x + 2\sigma$ равна 0,954, а $P(M_x - 3\sigma < X < M_x + 3\sigma) = 0,997$. Эти вероятности эквивалентны соответствующим площадям под кривой $p(x)$ (рис.35). Последнее соотношение называется правилом трёх сигма. Что оно означает? То, что на практике при принятии решений относительно возможных результатов событий, подчиняющихся закону нормального распределения, пренебрегают возможностью отклонений от M_x, превышающих 3σ (соответствующая вероятность меньше 0,003).

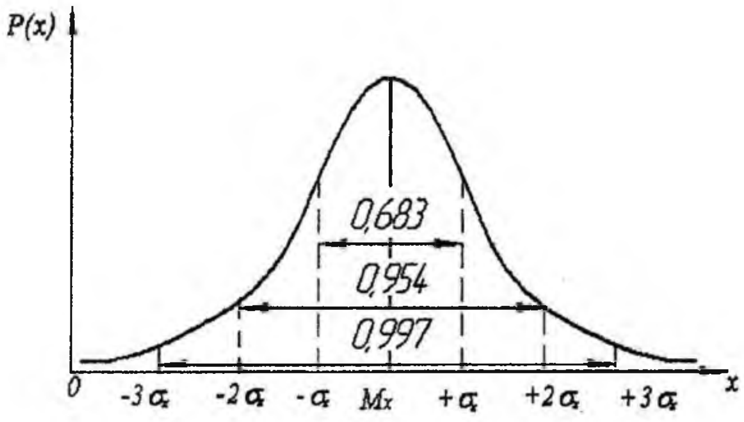

Рис.35. Площади под кривой плотности нормального распределения, заключённые в пределах интервалов, кратных стандартному отклонению

Нормальное распределение было впервые найдено в 1733 году А.Муавром (*A. de Moivre*; 1667-1754). Непосредственным поводом для исследования и доказательств локальной и интегральной предельных теорем послужило желание А.Муавра исследовать задачу о мужских и женских рождениях (18:17), а в более широкой перспективе - установить *критерий* для отличия необходимого (установленного провидением) от случайного. В своих расчётах А.Муавр использовал приближённую формулу Дж.Стирлинга (*Stirling Jamas*; 1692-1770) для $n!$

$$n! \approx Bn^n e^{-n} \sqrt{n}, \qquad \text{где } B = \sqrt{2\pi}. \qquad \text{(Н-6)}$$

К сожалению, вплоть до рубежа XIX-XX веков заслуги А.Муавра явно недооценивались [5, 7].

Позднее, в 1770-1771 гг. Даниил Бернулли (*Daniel Bernoulli*; 1700-1782) опубликовал мемуар, в котором, очевидно, не зная о результатах А.Муавра, независимо вывел локальную предельную теорему Муавра-Лапласа и составил первую небольшую таблицу нормального распределения. Как и А.Муавр, Д.Бернулли исследовал соотношение мужских и женских рождений (использовав новые статистические данные) и даже отыскал его "истинное" значение (16:15) [5].

Некоторое время спустя нормальное распределение было снова открыто в 1809 году К.Гауссом (*Gauss Carl Friedrich*; 1777-1855) и в 1812 году П.Лапласом (*Laplace Pierre Simon*; 1749-1827). П.Лаплас доказал "теорему Муавра-Лапласа" заново, пользуясь формулой суммирования Эйлера-Маклорена, и именно его вывод стал широко известен [5]. Классические примеры возникновения нормального распределения как точного принадлежат К.Гауссу (закон распределения *ошибок* наблюдений) и Дж.Максвеллу (*Maxwell James Clerk*; 1831-1879) (закон распределения скоростей молекул). *Понятие* "нормальное распределение" принадлежит К.Пирсону (*Pearson Karl*; 1857-1936).

Примеры геологических характеристик, подчиняющихся закону нормального распределения: топография, плотность морского песка, показатель сферичности для заданного размера частиц, показатель окатанности галек разного размера, уровень воды в скважине в течение времени, плотность гидросети, удельный вес образцов из гранитного массива, плотность заполнения зёрен в песчанике, размеры беспозвоночных ископаемых организмов, угол наклона морского пляжа, угол склона речной долины, угол падения косой слоистости песчаника, пористость песчаника, содержание минералов в породах, содержание влаги в осадочных породах, содержание некоторых химических элементов. См. также *Ошибок теория*, *Шум*, *ШУМЪ*. Подробно см. [3, 5, 6, 7, 10, 13, 17, 20, 25, 26, 32, 33, 54].

Нормальное состояние в толковании Владимира Даля см. *НОРМА*.

Нормирование переменных - частный случай преобразования *физических величин* к *безразмерному* виду путём деления исходной переменной величины на аналогичную постоянную. Локализация области варьирования *фактора* производится путём нормирования переменных. при этом минимальное значение фактора принимается за ноль, а максимальное за единицу. В результате безразмерная нормированная величина изменяется в *интервале* от нуля до единицы:

$$z_j = \frac{x_j - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}}. \qquad (Н\text{-}7)$$

Например, в задачах оптимизации технологических процессов нормирование переменных позволяет перейти в факторное пространство, в котором все переменные находятся в положительной области и изменяются от нуля до единицы. В задаче получения статистических характеристик *структуры потоков* для приведения концентрации технологического *трассера* к безразмерному виду постоянной величиной в знаменателе является его начальная концентрация. Нормирование *случайных величин* производится путём деления их на квадратичное отклонение. См. также *Величина параметрическая, Нормализация, Приведение переменных.*

О

"Определение - исходный пункт и результат мышления" (*Виктор Кротов*; р.1946).

Определение (*научн.*) - 1. *Формулировка,* объяснение *научного термина, понятия, явления, процесса,* объекта, раскрывающее его *физическую сущность,* содержание, смысл. 2. Задание размеров, границ, пределов, начала и конца, констатация известных причин, предположение каких-либо причинно-следственных связей. 3. Вычисление той или иной физической *величины, коэффициента, параметра* и т.д.

"Всё действительное содержит внутри себя противоположные определения, и, следовательно, познание, а точнее, определение предмета в понятиях означает познание его как конкретного единства противоположных определений" (*Г.Гегель* (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831)).

"Определение - исходный пункт и результат мышления. Определить - это сделать всё что только может рассудок, чтобы подготовить озарение понимания... Всякое определение какую-то истину в себе содержит (в отличие от умозаключений, которые только и могут быть правильными и неправильными). Истина - не в умозаключениях, а в определениях." (*Александр Круглов*) [71]. Наиважнейшее значение имеет интеллектуальная *среда* - среда, способствующая мышлению. Что и как человек думает, какие он строит *мысленные модели*, имеет исключительное значение.

См. также *Диалектика, ДIАЛЕКТИКА, Категория, ОПРЕДЕЛЯТЬ, ПОНИМАТЬ, Понятие, Состоять, Термин технический, Форма.*

"**ОПРЕДЕЛЯТЬ, *определить*** что, решать, постановлять, делать решенье, приговоръ, постановленье властью. (...) || что, чемь, объяснять, изъяснять коротко сущность, отличительные признаки чего. *Чемъ проще и обиходнее вещь, тем труднее определить ее общимъ и обиходным порядкомъ.* (...) || что, почему, решить задачу, узнать, вычислить. (...) ***Определенье*** ср. дейст. по гл. въ разн. знач. и || сущность, итогъ и произведенье его. (...) *Определенье научное*, краткое означенье сущности, признаковъ предмета. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68]. См. также *Определение*.

Определяющий размер - это тот геометрический размер *системы*, который определяющим образом влияет на распределение скоростей, температуры и *концентраций* компонентов в *среде жидкости* или *газа* в явлениях переноса. См. *Диаметр эквивалентный, Радиус гидравлический.*

Открытая система - *система*, которая обменивается с внешней *средой* веществом и энергией. В общем случае открытыми системами являются все живые организмы, популяции (сообщества людей, животных, птиц, рыб, насекомых и т.д.), *природные* и технологические системы с непрерывно протекающими *процессами* переноса количества движения, вещества и энергии. "Буровой агрегат-пласт" - система открытая. Подробнее см. *Система*.

Относительная физическая величина - *безразмерная величина*, равная отношению *физической величины* к одноимённой физической величине, принимаемой за некоторый эталон. Например, время *параметрическое*, *концентрация* параметрическая, давление параметрическое, объём параметрический, температура параметрическая, *коэффициент* полезного действия, массовая доля, мольная доля, объёмная доля, относительная молекулярная масса, относительная плотность, и др. Единицы относительной физической величины - единица, "1", *процент* (%), *промилле* (°/₀₀) и *миллионная* доля (млн$^{-1}$).

См. также *Величина параметрическая, ОТНОСИТЬ, Отношение, Приведение переменных.*

"**ОТНОСИТЬ**, ***отнести***, или ***отнесть***, ***относишвать*** что куда, кому или къ кому, взявъ въ одномъ месте, перенести въ другое, принести кому-либо, доставить на себе. (...) || Что куда, кь чему, приписывать, находить причину, поводъ, связь. (...) || Принадлежать, состоять въ связи, въ веденіи, въ зависимости. (...) || Математ. содержаться, показывать (арифметическое или геометрическое) содержанье, отношенье, быть пропорціональным. (...) ***Отношенье***, ***отнесенье*** ок., **относъ** м., **относка** ж., действ. по гл. *Между качествомъ и количествомъ нетъ никакого отношенья,* причинной связи. *Отношеніе*, математ. содержаніе, пропорція, выводъ сравненья двухъ чиселъ, вычитаньемъ (*отношеніе арифметическое*) или деленьемъ (*отношеніе геометрическое*). (...) **Относительный**, въ чемъ есть отношенье къ чему, зависимость отъ чего; сравнительный, подчиненный, условный, обусловленный, зависимый, ограниченный, пртвп. *абсолютный, отрешенный, безграничный, безусловный, несравнимый, особный, независимый, самостоятельный. Мало и много, просторно и тесно, тяжело и легко - понятія относительныя.* (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

См. также *Мера, Нормирование переменных, Относительная физическая величина, Параметрическая величина, Понятие, Приведение переменных, Причина, Причинность, Связь, Следствие.*

> "Относительность - это принцип, относительно верный для мира физического и относительно ложный в применении к миру этическому." (*Виктор Кротов*; р.1946).

Отношение - философская *категория*, *форма* всеобщей взаимосвязи объектов, субъектов, *событий, явлений, процессов* и *величин* в *природе*, обществе и мышлении. Отношения объектов, субъектов, событий, явлений, процессов и величин исключительно многообразны и охватывают математику, *физику*, физиологию, химию, логику, философию, социологию, лингвистику, природу, технику, технологию и многое другое. Например, абсолютный - относительный, часть и целое, равенство и неравенство, зависимость - независимость, невозможность - *случай-*

ность - неизбежность, *причина* и *следствие*, *причинность* и следствие, *симметрия* и *асимметрия*, отношение содержания и *формы*, отношения качества (лучше - хуже), отношения количества (больше - меньше), отношения ориентации, относительность *систем*, характеристика объекта в *понятии* лишь в одном каком-либо отношении, *структурность* и системность в отношении какого-либо уровня, *множество* условных величин, обстоятельств, *параметров*, *коэффициентов* и т.д. Даже *норма* - *понятие* относительное. Наконец, всеобщая теория относительности А.Эйнштейна (*A.Einstein*; 1879-1955).

1. (*лог.*) - аналогия, *анализ* и *синтез*, причина и следствие, причинность и следствие, "...больше, чем...", "...включено в...", "...влечёт...", "...исключает..." и др.

2. (*соц.*) - руководство и подчинение, партнёрство, дружба и вражда, любовь и ненависть и т.п., а также особые *моменты* в межличностных и социальных отношениях (точка зрения, точка отправления, попасть в самую точку, дойти (довести) до точки).

3. (*мат.*) - отношение двух чисел или алгебраических выражений (вычитание и деление, часть и целое, пропорция), функциональное отношение (аргумент (*фактор*) и *функция*, следование во времени и случайность), величины соизмеримые - несоизмеримые, величины *нормированные*, кодированные и стандартизованные. *Выборочное среднее значение совокупности* всегда относительно. Большинство *статистических критериев*, по существу, являются предельным соотношением параметров, характеризующих те или иные свойства совокупностей. Число, по существу, отношение количества к *единице*. *Частота события* есть отношение числа исходов, n_1, "благоприятствующих" данному *событию*, к общему числу "равновозможных" исходов, n, - $h_1=n_1/n$. *Вероятность* есть предел этого отношения.

4. (*физ.*) - отношения двух физических *величин*: *параметрические величины* (параметрические время, *концентрация*, давление, объём, температура), *нормированные* величины (вероятности событий, *коэффициент* полезного действия, относительная влажность, массовая доля, мольная доля, объёмная доля), *приведённые* величины (относительная молекулярная масса, относительная плотность и др.), в т.ч. параметрические величины. Отношение систем отсчёта, скорости и др. Критерии подобия характеризуют соотношения сил, действующих в системе (движущейся *жидкости* или *газе*) или соотношения *потоков* массы, энер-

гии и т.п. Константы подобия - также соотношения физических величин, определяющих процесс.

Результаты измерений всех физических величин относительны и по точности, и по *единицам* измерений; шкалы измерительных приборов относительны. Температурные шкалы Кельвина, Ранкина, Реомюра, Фаренгейта и Цельсия относительны применяемого термометрического вещества и соответствующих *реперных точек* (необходимо заметить, что шкалы Кельвина и Ранкина называются *абсолютными*, поскольку отсчитывается от абсолютного *нуля*, - температуры, при которой прекращается тепловое движение атомов и молекул). Различают также *ошибки* абсолютные и относительные. Понятия "*частица*" и "*комок*" относительны. Скорость *течения* жидкости в канале произвольного сечения относительна и зависит от объёмного расхода, места рассмотрения, параметров *жидкости* и метода расчёта. Например, средняя скорость течения жидкости в скважине при проведении спуско-подъёмных операций относительно бурильной колонны больше, чем относительно стенки скважины. Но и сама скорость течения жидкости изменяется по кольцевому сечению по достаточно сложному закону.

Можно также упомянуть очень важные соотношения единиц измерения различных систем единиц измерений физических величин. Более того, физическая величина, по существу, является отношением к принимаемой единице измерения физической величины (неважно, основной или производной).

Связь, по существу, соотношение между причиной и следствием.

5. (*лингв.*) - значение какой-либо языковой *формы*, её роль в системе языка, определяемая соотношением с другими формами.

См.также *Асимметрия, Бесконечность, Величина параметрическая, Величина физическая, Вероятность, Детерминизм, Дисперсия, ИДЕЯ, Изоморфизм математический, Категория, Ламинарное течение, Математическое ожидание, Мера, Моделирование, Моделирование математическое, Относительная физическая величина, ОТНОСИТЬ, Переменная, Пограничный слой, Понятие, Связь, Симметрия, Система, Среда, Среднее, среднее значение, Структура, Турбулентное течение, Функция, Частица.*

Оценка - количественная характеристика *параметра*, получаемая по результатам *выборки*. Проблема оценки неизвестного параметра является одной из центральных в теории обработки результатов *наблюдений*. К оценкам параметров предъявляется комплекс требований. Важнейшие среди них: несмещённость, состоятельность и эффективность. Важно отметить, что в отличие от *математического ожидания* (некоторой неизвестной *абстрактной величины*) оценок математического ожидания *множество*, например, *арифметическое взвешенное среднее*, *арифметико-геометрическое среднее*, *арифметическое среднее*, *взвешенное степенное среднее*, *гармоническое среднее*, *геометрическое среднее*, *среднее квадратичное*, *среднее кубическое*, а также *мода*, *медиана* и *начальный* момент первого порядка:

$$m_x = m_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} x p(x)\,dx. \tag{0-1}$$

Очевидно, что разные виды средних различаются; отсюда возникает **проблема** правильного выбора *формы* среднего значения. Решающую роль здесь играет физическая *сущность* объекта (*процесса*, *явления*), интуиция и добросовестность исследователя. См. также *Среднее*, *среднее значение*.

П

Параметр (< *греч.* **παραμετρεω** - мерить что-либо, сопоставляя его с чем-либо, измерять что-либо по чему-либо, сравнивать что-либо по чему-либо.- *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [66]) - *величина*, значения которой служат для различения *элементов* некоторого *множества* между собой. В зависимости от конкретного множества различают следующие параметры.

В *математической статистике* параметр - характеристика *совокупности*, например, *математическое ожидание*, *дисперсия*, *момент* β-того порядка. Параметр совокупностей обычно обозначают греческими буквами в отличие от их оценок, вычисляемых по результатам выборок и обозначаемых латинскими буквами.

В *моделировании математическом* параметр - *величина*, значения которой служат для конкретизации той или иной *модели математической*. В *экспериментально-статистических* моделях параметрами будут называться, например, коэффициенты b_0, b_1, $b_2, \ldots, b_k$ уравнения $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots + b_kx_k$.

Параметр в *моделировании физическом*, в технике и *технологии* - величина, являющаяся существенной характеристикой *системы*, технического устройства, *процесса*, *явления*. Например, в гидромеханических процессах такими величинами являются скорости течения *жидкостей* и *газов*, скорости движения твёрдых *частиц*, *коэффициент* динамической вязкости жидкой фазы, плотности жидкой и твёрдой фаз, размеры и коэффициент *формы* частиц твёрдой фазы и др.; для *тепловых* процессов такими параметрами являются *удельные теплоёмкость* и *теплопроводность*, *температурный* напор и т.д.; в *массообменных* процессах параметрами являются коэффициенты молекулярной *диффузии*, коэффициенты *массоотдачи* и *массопередачи*. Параметры могут быть постоянными и *переменными* (т.е. могут зависеть от *времени* и/или системы *координат*).

См. также *Изоморфизм математический*, *Константа*, *Коэффициент*.

Параметр распределённый - *параметр системы*, который нельзя локализовать в конечном числе точек системы. Распределёнными параметрами являются, например, физико-химические характеристики бурового раствора в циркуляционной системе скважины - структурная вязкость, напряжение сдвига, плотность, температура и др., которые непрерывно изменяются по глубине скважины. См. также *Параметр сосредоточенный*.

Параметр сосредоточенный - *параметр системы*, который можно считать локализованным в одной точке пространства. См. также *Параметр распределённый*.

Параметрическая величина - *безразмерная физическая величина*, равная *отношению* физической *величины* к одноимённой физической величине, принимаемой за некоторый эталон. См. *Относительная физическая величина*, *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*, *Параметр*, *Приведение переменных*, а также *Нормализация*.

Пекле критерий продольного перемешивания - критерий, характеризующий соотношение конвективного переноса вещества и переноса вещества *турбулентной диффузией*:

$$\mathrm{Pe}_1 = \frac{\left(\begin{array}{c}\text{количество вещества А,}\\ \text{переносимое потоком}\\ \text{вдоль направления движения}\end{array}\right)}{\left(\begin{array}{c}\text{количество вещества А,}\\ \text{переносимое в процессе турбу-}\\ \text{лентной диффузии в направлении,}\\ \text{противоположном движению потока}\end{array}\right)} = \frac{wL}{D_1}, \qquad (\text{П-1})$$

где D_1 - коэффициент продольной диффузии (см. *Диффузионная модель структуры потоков*, *Структура потока*). Критерий поперечного перемешивания аналогичен.

Переменная - *величина*, которая в изучаемой задаче принимает различные значения, причём так, что все допускаемые значения переменной полностью *определены* наперёд заданными условиями.

При наличии в изучаемой задаче более чем одной переменной различают независимые и зависимые переменные. Последние рассматриваются как *функции* от независимых переменных (аргументов или *факторов*), причём переменные являются зависимыми или независимыми лишь по *отношению* друг к другу, и их различение достаточно условно и определяется условиями задачи.

Понятие переменной возникло в 17 в. первоначально под влиянием запросов естествознания, выдвинувшего на первый план изучение движения, *процессов*, а не только *состояний*. Это понятие не укладывалось в *формы*, выработанные математикой древности и средних веков, и требовало для своего выражения новых форм. Такими новыми формами явились буквенная алгебра и аналитическая геометрия Р.Декарта (*Descartes Rene*; 1596-1650). В буквах декартовой алгебры, могущих принимать произвольные числовые значения, и нашли своё символическое выражение переменные. Декартова *переменная величина* явилась поворотным пунктом в развитии математики, благодаря ей **переменную** стали рассматривать "не как состояние из крайне малых частей", а как *процесс*, развитие, движение - так возникло дифференциальное и интегральное исчисления.

Начиная со второй половины 19 в. математика начинает рассматривать как переменные не только величины, но и всё более разнообразные и широкие классы других своих объектов - развиваются теория *множеств*, топология и математическая логика. О том, насколько расширилось в 20 в. понятие переменной, свидетельствует тот факт, что в математической логике рассматриваются не только переменные, пробегающие произвольные множества предметов, но и переменные, значениями которых служат высказывания, предикаты (отношения между предметами) и т.д.

Пограничный слой - область течения вязкой *жидкости* или *газа* (в дальнейшем - жидкость) с малой по сравнению с продольными размерами поперечной толщиной, образующаяся у поверхности обтекаемого твёрдого тела, у стен канала, по которому течёт жидкость, или на границе раздела двух *потоков* жидкости с различными скоростями, температурами или химическим составом. Пограничный слой характеризуется резким изменением в поперечном направлении скорости (гидродинамический пограничный слой) или температуры (тепловой, или температурный, пограничный слой) или же *концентраций* отдельных химических компонентов (диффузионный, или концентрационный, пограничный слой). На формирование течения в пограничном слое основное влияние оказывают вязкость, теплопроводность и диффузионная способность жидкости. Внутри *динамического* пограничного слоя происходит плавное изменение скорости от её значения во внешнем потоке до нуля на стенке (вследствие прилипания вязкой жидкости к твёрдой поверхности). Аналогично внутри пограничного слоя плавно изменяются температура и концентрация.

Режим течения в *динамическом* пограничном слое определяется реологическими характеристиками жидкости, скоростью течения и шероховатостью стенки, может быть *ламинарным* или *турбулентным* и фиксируется *критерием* Рейнольдса, Re. При ламинарном течении отдельные *частицы* (*комки*) жидкости движутся по траекториям, *форма* которых близка к форме обтекаемого тела или условной границы раздела между двумя жидкими *средами*. При турбулентном *течении* в пограничном слое на некоторое осреднённое движение частиц жидкости в направлении основного потока налагается хаотическое, пульсационное движение отдельных жидких конгломератов. В *процессе* возрастания общего переноса количества движения, энергии и массы интенсивность переноса количества движения, а также процессов тепло- и массопереноса в пограничном слое резко увеличивается, что приводит к возрастанию *коэффициента* поверхностного трения, коэффициентов тепло- и массообмена. Значение критического критерия Рейнольдса, при котором в пограничном слое происходит переход ламинарного течения в турбулентное, зависит от степени шероховатости обтекаемой поверхности, уровня турбулентности внешнего потока, числа Маха М и некоторых других *факторов*. Пограничный слой характеризуется достаточно сложной *структурой*, в пограничном слое отсутствует чёткая граница между ламинарным и турбулентным режимами, между ними имеется переходная область, где ламинарный и турбулентный режимы попеременно чередуются.

Согласно современным теориям пограничный слой в турбулентном потоке ньютоновской жидкости имеет сложную структуру. Он состоит из вязкого подслоя, в котором жидкость движется практически ламинарно, турбулентного пограничного слоя и находящейся между ними переходной области. Толщина δ гидродинамического пограничного слоя определяется как то расстояние от поверхности тела (или от границы раздела жидкостей), на котором скорость в пограничном слое можно практически считать равной скорости во внешнем потоке. Значение δ зависит главным образом от критерия Рейнольдса, причём при ламинарном режиме течения $\delta \sim L \cdot Re^{-0,5}$, а при турбулентном - $\delta \sim L \cdot Re^{-0,2}$, где L - *определяющий размер* тела или потока.

Развитие теплового пограничного слоя определяется, помимо критерия Рейнольдса, также критерием Прандтля, которое характеризует *соотношение* между толщинами динамического и теплового пограничного слоёв. Соответственно, на развитие диффузионного пограничного слоя дополнительное влияние оказывает диффузионный критерий Прандтля (в зарубежной литературе критерий Шмидта, Sc).

Характер течения в пограничном слое оказывает решающее влияние на отрыв потока от поверхности обтекаемого тела. *Причина* этого заключается в том, что при наличии достаточно большого положительного продольного градиента давления кинетическая энергия заторможенных в пограничном слое частиц жидкости становится недостаточной для преодоления сил давления, течение в пограничном слое теряет устойчивость, и возникает так называемый отрыв потока [52].

Подробно см., например, [2, 4, 27, 36, 40, 43, 48, 50]. См. также *КОМЪ*, *Турбулентное течение*.

"**ПОНИМАТЬ, *понять*** что, постигать умомъ, познавать, разуметь, уразумевать, обнять смысломъ, разумомъ; находить в чемъ смыслъ, толкъ, видеть причину и последствія. (...) || *Понятіе*, способность понимать, даръ уразуменья, соображенья и заключенья. (...) || Мысль, представленье, идея; что сложилось въ уме и осталось въ памяти, по уразуменіи, постиженіи чего либо. (...) *Необходимость безконечной величины доказывается математикой, но понятія объ ней составить себе нельзя.* (...) || ***Понятный,*** могущій быть понятымъ, вразумительный, постижимый, ясный, доступный смыслу, уму. (...) ***Понятность*** ж. качество по прглт., ясность, вразумительность. (...)" (В.И.Даль; 1801-1872) [67].

См. также *Диалектика*, *ДІАЛЕКТИКА*, *Категория*, *Определение*, *ОПРЕДЕЛЯТЬ*, *Понятие*, *Состоять*, *Термин технический*, *Форма*.

"Понять - это научиться воспроизводить, и запомнить - это научиться воспроизводить. Но почувствуйте разницу: понять - научиться воспроизводить, не помня, запомнить - научиться воспроизводить, не понимая." (*Александр Круглов*; р.1954).

Понятие - целостная *совокупность суждений*, *мысленная модель*, *отражающая* в обобщённой *форме* объекты и *явления* действительности и *связи* между ними посредством фиксации общих и специфических признаков. "Моменты понятия суть всеобщность, особенность и единичность. Понятие есть их единство" (Г.Гегель (*Hegel Georg Wilhelm Friedrich*; 1770-1831). В качестве признаков выступают свойства объектов и явлений и *отношения* между ними. Объект характеризуется в понятии обобщённо, что достигается за счёт применения в *процессе* познания таких умственных действий, как абстракция, идеализация, обобщение, сравнение, *определение*. Процесс образования понятий основан на единстве *анализа* и *синтеза*. "Понятие - это всеобщее, которое вместе с тем определено и остаётся в своём определении тем же самым целым и тем же самым всеобщим, то есть такая определённость, в которой различные определения вещи содержатся как единство" (*Г.Гегель*; 1770-1831). В отличие от суждения в понятии только утверждается наличие признаков и свойств объекта. Также в понятии должны быть отображены только отличительные и существенные признаки, свойства объекта и явления, находящиеся в органической взаимосвязи. Наконец, понятие - *детерминированно-стохастическая мысленная модель* объекта, явления.

Посредством отдельных понятий и *систем* понятий отображаются фрагменты действительности, изучаемые различными *науками* и научными *теориями*. "Понятие есть то, что раскрывает, чем являлся или является тот или иной предмет" (*Антисфен из Афин*; 444-366 до Р.Х.). В каждом понятии различают его *содержание* (совокупность признаков *предметов*, отражённых в понятии) и *объём* (*множество*, *класс* предметов, каждому из которых принадлежат признаки, относящиеся к содержанию понятия). Например, главное содержание понятия "молекула" - мельчайшая *частица*, сохраняющая *физические* и химические свойства данного *вещества*, а объём этого понятия бесконечен - молекулы всех веществ. Полярный пример, Жар-птица, Конёк-горбунок, Царевна-лягушка, Змей-Горыныч, "ковёр-самолёт" и т.п. - понятия с пустым объёмом, их объёмы не содержат ни одного *элемента*. Большое значение представляют общие понятия: атом, молекула, химический элемент, *натуральные числа, вещественные числа, иррациональные числа*, млекопитающие, насекомые, земноводные, рыбы, птицы, растения, вулканы, реки и т.д.

Понятие непосредственно связано с процессом **понимания** человеком систем и явлений. Понимание, по существу, означает создание адекватной мысленной модели. Понятия и связи имеют определённый точный смысл в рамках некоторого множества моделей, которые конструируются для научного описания. С течением времени модели изменяются, изменяются и понятия. Так например, *термин* "технология" в конце XVIII - начале XIX веков означал науку о химической переработке *природного* сырья в продукты, нужные человеку. В настоящее время "технология" стала понятием, т.к. в промышленности было разработано много технологий, и этот процесс продолжается. Понятия, как и термины, не неподвижны, они переходят друг в друга, непрестанно изменяются, как непрерывно меняется жизнь. Ещё один пример, на этот раз русскоязычный, - почти все понятия, связанные с перемещениеми автомобиля в гараж и в автосервис, а также из гаража и автосервиса в России заимствованы из лексикона ухода за домашним скотом. "Всё меняется, кроме перемен" (*Израэль Зангвилл*; 1864-1926).

Источником понятий является *диалектически* развивающийся материальный мир. Когда в процессе исследования объекта или явления обнаруживается новая, более глубокая *сущность*, старое понятие может стать всего лишь суждением, а место его займёт новое понятие, новая мысленная модель, включающая вновь открытые отличительные и существенные признаки и свойства этого объекта или явления.

"Понятие неразрывно связано с языковой средой. Реальность каждого понятия проявляется в языке. Понятие возникает на базе слов и не может существовать вне слов. Слово является носителем понятий. Слово, обозначающее строго определённое понятие какой-нибудь области науки, техники, называется термином. Будучи неразрывно связано со словом, понятие не является тождественным слову. Это видно из того факта, что в разных языках одни и те же понятия регистрируются, закрепляются в различных словах." (*Н.И.Кондаков*; [72]).

См. также *БЕЗКОНЕЧНЫЙ, Бесконечность, Величина, Вероятность, Выборка, Диалектика, ДIАЛЕКТИКА, Категория, Константа, Математическое ожидание, Множество, Модель, Определение, ОПРЕДЕЛЯТЬ, ОТНОСИТЬ, Отношение, Оценка, Переменная, ПОНИМАТЬ, Распределение вероятнос-*

тей, Совокупность, Состояние, Состоять, Среднее, среднее значение, Статистика, Термин технический, Форма, Функция.

Нечёткость различения "*Понятие*" и "*Термин*" встречается в названиях арифметических действий: Вычитание, Деление, Делимое, Делитель, Дробь арифметическая, Знаменатель арифметической дроби, Множитель, Показатель, Произведение (*мат.*), Результат, Сложение, Степень, Сумма, Умножение, Частное, Числитель. См. также *Категория, Комок, Математическое ожидание, Норма, Эмпирический метод.*

Поток - частный случай *динамической системы.* В теории и *моделировании* технологических *процессов* перемещающаяся субстанция - масса, энергия и импульс.

Представительная выборка см. *Выборка представительная.*

Приведение переменных - общий случай преобразования *физических величин* к *безразмерному* виду путём деления исходной *переменной* величины на аналогичную постоянную. В зависимости от того, какая физическая величина принимается за постоянную, различают нормирование переменных, кодирование переменных, приведение к *параметрическому* виду и стандартизацию случайной величины.

При нормировании переменных производится локализация области варьирования *фактора,* минимальное значение фактора принимается за ноль, а максимальное - за единицу. В результате безразмерная нормированная величина изменяется в *интервале* только от нуля до единицы. Безразмерная нормированная величина вычисляется по формуле:

$$z_j = \frac{x_j - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}}. \qquad (\text{П-2})$$

Приведение к параметрическому виду *случайных* величин может быть произведено путём деления их на квадратичное отклонение. Получаемое при этом *распределение* имеет *дисперсию,* равную единице.

При кодировании переменных в задачах планирования *эксперимента* независимо от физической *сущности фактора* минимальным значениям всех физических переменных присваивается значение -1, а максимальным значениям - значение +1. Такое преобразование факторного пространства позволяет получить *систему координат,* инвариантную к некоторым преобразованиям.

Стандартизация случайной величины - преобразование случайной величины с целью получения распределения с центром в нуле и *диспер-*

сией, равной единице. Стандартизация случайной величины производится путём вычитания из неё *среднего значения выборки* и деления на *квадратичное* (стандартное) *отклонение*:

$$z_1 = \frac{x_1 - M_x}{б_x}, \tag{П-3}$$

$$z_1 = \frac{x_1 - \bar{x}}{s_x}, \tag{П-4}$$

где M_x и $\bar{x}$ - *математическое ожидание* и его *оценка*, соответственно, а $б_x$ и s_x - генеральное квадратичное отклонение и выборочное квадратичное отклонение (стандарт). В результате стандартизации случайная величина, в общем случае имеющая ту или иную размерность, становится безразмерной. Кроме этого, появляется некоторая возможность непосредственного сравнения разных распределений, поскольку случайные величины становятся соизмеримыми. Например, все значения стандартизованной случайной величины в большинстве случаев укладываются в интервал от -3 до +3, поскольку *вероятность* отклонения нормально распределённой случайной величины за пределы $M_x \pm 3б$ меньше 0,003 (правило трёх сигма, рис. 35).

В остальных случаях выбор постоянной, принимаемой за знаменатель, определяется конкретными обстоятельствами, например, в задаче получения *статистических* характеристик *структуры потоков* для приведения времени к безразмерному виду постоянной величиной в знаменателе является *среднее* время пребывания *жидкости* в технологическом *аппарате* (точнее, начальный момент первого порядка, m_1, (2.19), (3.7), (М-1), (М-11), (О-1)). Приведение температуры к безразмерному виду осуществляется путём деления абсолютной температуры вещества на его критическую температуру. Приведение давления к безразмерному виду осуществляется путём деления его на критическое давление, а объёма - делением мольного объёма на критический мольный объём. Очевидно, что в отличие от нормированной величины приведённая или параметрическая величина может изменяться в достаточно широких пределах, но если в рассматриваемой *совокупности* данных были несоизмеримые физические величины, то в результате приведения переменных безразмерные величины становятся соизиеримыми. См. также *Величина параметрическая*, *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*.

"**ПРИРОДА** ж. естество, все вещественное, вселенная, все мiрозданье, все зримое, подлежащее пяти чувствамъ; но более нашъ мiръ, земля, со всемъ созданнымъ на ней; противополагается *Создателю*. (...) || Все земное, плотское, телесное, гнетущее, вещественное, пртвпл. *духовность*. (...) || Все природныя или естественныя произведенья на земле, три царства (или, съ человекомъ, четыре), въ первобытномъ виде своемъ, противплжн. *искусство, дело рукъ человеческихъ*. (...) || Врожденныя свойства, прирожденныя качества, естественное состоянье, стремленье или наклонности. (...) Относя *природу* къ личности, говорятъ: *онъ отъ природы золъ, добръ, глупъ, горбатъ, слепъ, хромъ* ипр., т.е. таковъ родился. В семь значеньи *природа*, какъ свойство, качество, принадлежность или сущность, переносится и на отвлеченные и духовные предметы: (...) *Гони природу въ дверь, она влетитъ в окно! Это не въ природе вещей*, не естественно. || Что придается человеку или животному родомъ, при рожденiи, обстоятельствами или обычаями. (...) **Природный**, къ природе отнсщс. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

См. также *Натура*.

> "Роком я называю порядок и последовательность причин, когда одна причина, связанная с другой причиной, порождает из себя явление" (*Гераклит Эфесский*; 535-475 г. до Р.Х.).

Причина (*укр*. причина, польск. przyczyna < *чин, чинить*. *Лат*. causa - причина, повод, основание, побудительное начало) - *явление*, вызывающее возникновение другого явления - *следствия*. Другими словами, под причиной понимается явление, которое так *связано* с другим явлением, называющимся следствием, что его возникновение неизбежно влечёт за собой возникновение следствия, а уничтожение его влечёт за собой уничтожение следствия. Например, поступление теплоты в *жидкость* или *газ* немедленно вызывает градиент температуры, *следствием* которого является градиент плотности *среды*. В свою очередь, следствием изменения плотности самой жидкости (газа), обусловленного термическим расширением, является естественная конвекция - движение слоёв жидкости (газа) с меньшей плотностью вверх, а слоёв жидкости (газа) с большей плотностью вниз. "Детерминизм предполагает "долженствование": причина должна порождать такое-то и такое-то следствие (и очень часто добавляется "сразу же")... Закон строгого детерминизма может основываться (или опровергаться) одним единственным экспериментом: следствие есть или его нет" [34].

Достаточно очевидно, что в мире нет беспричинных явлений - любое явление *природы* и общества есть следствие той или другой причины. Одинаковые причины в одних и тех же условиях вызывают одинаковые следствия. С другой стороны, следствие не пассивно по отношению к причине, взаимодействие причины и следствия является причиной последующих *процессов*. Нет явлений, которые не имели бы своих причин и также точно нет явлений, которые бы не порождали тех или иных следствий. Следствие, произведённое некоторой причиной, само становится причиной другого явления; последнее, в свою очередь, становится причиной третьего явления и т.д. "Что сильнее всего? - Необходимость, ибо она властвует над всем" (*Фалес Милетский*; 625-547 гг. до Р.Х.). Эту последовательность явлений, связанных друг с другом отношением внутренней необходимости, называют причинно-следственной цепью, или "цепью причинения". Любая из цепей причинения не имеет ни начала, ни конца, и любые попытки найти "первопричину" или последнее следствие достаточно бесперспективны. Познание причинно-следственной связи явлений играет огромную роль в интеллектуальном развитии человека. См. также *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*, *Причинность*, *Следствие*.

"То, что принято называть "причиной", это не более, чем присущая душе человека привычка наблюдать одно явление после другого и заключать из этого, что явление, более позднее по времени, зависит происхождением от более раннего" (*Давид Юм*; 1711-1776 г.).

Причинность - *связь* между отдельными *состояниями* видов и *форм* материи в *процессах* её движения и развития. Причинность - философская *категория*. Это одна из форм всеобщей взаимосвязи *явлений* четырёхмерного пространства-времени, в котором существует Земная цивилизация. Причинность является основой практической деятельности человека, его стратегии и тактики, основой научных прогнозов. Некоторая острота *проблемы* причинности в философии вообще и в науке, в частности, обусловлена смешением *понятия* "*причина*" и категории "причинность". Вот что писал о причинности французский физик Леон Бриллюэн: "Причинность принимает утверждение, содержащее "может": определённая причина может вызвать такие-то и такие-то следствия с некоторыми вероятностями и некоторыми запаздываниями. Различие очень важно. Закон строгого детерминизма может основываться (или опровергаться) единственным экспериментом: следствие есть или его нет. Это ответ типа "да или нет" и содержит лишь один бит информации. Такая ситуация может иногда встречаться, но она есть исключение. Вероятностная причинность требует множества экспериментов, прежде чем закон вероятности как функцию запаздывания времени t удастся сформулировать приблизительно. <...> Вместо строгого детерминизма мы получаем некоторый закон корреляции, некий более тонкий тип определения, который можно применить к великому многообразию проблем" [34].

В реальном мире одновременно происходит *множество* независимых явлений, часть из них конкурирует, одновременно влияя на развитие другого множества *процессов*. Это множество независимых объективных и субъективных причин, одновременно (или, по мнению Леона Бриллюэна, с запаздыванием) влияющих на развитие *событий*, приводит к тому, что третье в нашей последовательности рассмотрения множество событий происходит *случайно*. "Одно из самых распространённых заблуждений - принимать результат события за его неизбежное следствие" (*Гастон де Левис*; 1764-1830). В пределе случайность начинает преобладать там и тогда, где и когда детерминизма становится слишком много, - *множество* причинно-следственных связей, соизмеримых по интенсивности, приводит к хаосу, из которого рождается *нормальное распределение* событий (в частности, ошибок измерений), а *информативность* событий рассеивается. Таким путём развивающаяся причинно-следственная цепь детерминированных по своей физической *сущности* явлений и приводит к детерминированно-стохастическому процессу существования белковых и небелковых тел.

Реальность *экспериментальной* работы такова, что невозможно провести эксперимент без ошибок поддержания требуемых условий и ошибок измерения. Хорошая или плохая воспроизводимость экспериментов - это другой вопрос, но ошибки будут - невозможно избавиться от так называемого *шума*. По существу, результаты экспериментов - *случайные величины*. Именно поэтому к обработке данных привлекаются *статистические методы* корреляционного, дисперсионного, регрессионного анализов и многие другие методы. Достаточно часто проблема не в ошибках измерений, а в слабых причинно-следственных связях исследуемого явления, процесса, в их соизмеримости с полезным сигналом. Статистические методы не могут **однозначно** утверждать - причинно-следственная связь есть или её нет. Единственно, на что они способны, - с принимаемой **самим исследователем** доверительной вероятностью утверждать, что, например, с вероятностью P=0,95 причинно-следственная связь есть, а вероятность того, что искомой связи нет - P=0,05. И не более того. См. также *ВОСПРОИЗВОДИТЬ, Информация, ОТНОСИТЬ, Отношение, Результат, РЕЗУЛЬТАТЪ.*

"**ПРИЧИНЯТЬ, причинить** что, быть причиною, причинникомъ чего; делать, творить, соделывать, учинять, чинить, производить. (...) || ***Причина*** ж. начало, источникъ, вина, коренной поводъ действiю, случаю; что производитъ последствiя, что служитъ виною, рычагом, основной силой, начальнымъ деятелемъ явленья. *Всему своя причина. Всему есть причина. Одна и та же причина рождает одно и то же следствiе. Мiръ причин, духовный; мiръ последствiй,* вещественный. (...) *Причина рождаетъ следствiе, которое ведетъ къ цели. Причина есть исходная, начальная точка, а цель конечная;* посему || причиной зовутъ и цель, намеренье, то, для чего (а въ перв. случае отъ чего) что случается, бывает. (...) || ***Причинность,*** лат. via causalitatis, доведенiе до уверенности въ чем либо, исходя отъ причины къ причине (Наум.). (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67].

См. также *ОТНОСИТЬ, Отношение, Причина, Причинность, СЛЕДИТЬ, Следствие.*

Проба (< *лат.* proba - испытание, проба) - (*эксп.*) *относительно* небольшое количество вещества (реакционной массы), отбираемое для последующего исследования *физическими*, физико-химическими или химическими *методами* с целью установления химической, *структурной формулы*, элементного состава, плотности, вязкости, теплоёмкости и т.д.

Процесс (< *лат.* processus - движение вперёд, течение, ход событий, успех, удача, преуспеяние, **процесс**) - последовательные изменения какой-либо *системы*, объекта, субъекта или *явления*, происходящие в результате *стохастических* или *детерминированных* закономерностей ("стохастические закономерности" следует понимать буквально, поскольку в соответствии с *законом* больших чисел массовые *случайные* явления в своём *совокупном* действии создают математически **строгие закономерности**. Это проявляется отчасти в том, что наблюдается некоторое постоянство *частоты* осуществления какого-либо *события* при многократном повторении однородных условий (в пределе - неизбежность).

См. также *Детерминированно-стохастический процесс, Детерминированный процесс, Динамический процесс, Событие, СОБЫТИЕ, Стационарный процесс, Стохастический процесс.*

Путь смешения - путь, проходимый *частицей (комком) жидкости* от *момента* возникновения до исчезновения. Поскольку частица жидкости сохраняет свою индивидуальность ограниченное время, путь смешения является *средней* характеристикой амплитуды *турбулентных* пульсаций. Подробно см., например, [27].

Р

Радиус гидравлический (< *лат.* radius - спица, луч, полудиаметр, ***радиус***. *И.Х.Дворецкий.* [72]) - характеристика некруглого поперечного сечения потока, $r_г$=S/П, где S - площадь поперечного сечения потока, П - полный периметр поперечного сечения потока. Для трубы круглого сечения, сплошь заполненной жидкостью, $r_г$=d/4. См. также *Диаметр эквивалентный, Определяющий размер.*

Размер определяющий см. *Определяющий размер.*

Распределение *вероятностей случайной величины - закон*, описывающий поведение случайной величины, её способность какие-то значения принимать чаще, какие-то реже, а какие-то никогда. Если случайная величина - *физическая*, то закон будет описывать способность её *распределяться* во времени или в пространстве равномерно или неравномерно, где-то с большей плотностью, где-то с меньшей, где-то появляться всегда, а где-то не появляться вообще. Этот закон может иметь вид *функции* - функции распределения или плотности вероятностей, а может быть задан перечислением вероятностей случайной величины. Распределение вероятностей случайной величины - одно из центральных *понятий вероятностей теории* и *статистики математической.* Определение распределения вероятностей равносильно заданию вероятностей всех *случайных событий*, характеризующих некоторое случайное *явление.*

Важнейшее распределение вероятностей непрерывного типа - *нормальное распределение* с плотностью вида (Н-5).

Описание распределения вероятностей производится при помощи плотности вероятности или функции распределения. В практическом использовании удобнее параметры распределения (например, при сравнении распределения частиц по радиусам в цементной суспензии или в коллоидных растворах, при исследовании *структуры потоков* в заколонном пространстве скважины). Наиболее часто в технологии и научных исследованиях используется среднее значение случайной величины (*оценка математического ожидания*) и его квадратичное отклонение или *дисперсия*. Практически полную информацию о распределении случайной величины дают числовые характеристики распределения, так называемые моменты распределения. Подробно см. [3, 5, 6, 7, 10, 13, 17, 20, 25, 26, 32, 33, 54].

"**РАСПРЕДЕЛЯТЬ**, ***распределить*** что, кого, расписать, назначить, давать место и дело, назначенье, разсылать по местам; подводить подъ разряды, порядки, отделы. (...) ***Распределенье***, дейст. по гл. ***Распределя(и)тель***, ***распределительница***, распределившiй что, кого. ***Распределёный***, къ распределенью служащiй, относящс. **Распределённость** ж. точность или порядок въ распределенiи." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67, 68].

Режим (< *франц.* regime - то же от *лат.* regimen "управление, правление": rego, -ere "править". *М.Фасмер*; (1886-1962). [84]) - условия осуществимости *событий*, протекания *явлений*, проведения *процессов*; *совокупность* значений *параметров*, подлежащих созданию, фиксации, констатации, обсуждению, управлению, регулированию и т.п. Различают политический режим, технологический режим, режим проходки, режим обработки и т.п., а также *нормы* того или иного режима.

Результатов экспериментов обработка - математические процедуры по преобразованию числовой *информации*, получаемой в результате *экспериментов*, с целью восстановления зависимости, вычисления *параметров*, *констант*, *коэффициентов* уравнений и проверки статистических гипотез.

С

Связать - соединить, установить *связь*, общность, близость между чем-либо (например, открыть связь между двумя *явлениями*, установить *причину* и *следствие*). См. также *Информация*.

"**СВЯЗЫВАТЬ**, ***связать*** что, (*связываю* или *связую*), скреплять и соединять вязкою, образуя узелъ изъ самой вещи этой, а также особою завязкою. (...) || То же в иноскзтльн. поставлять въ зависимость, находить въ чем общность, нераздельность, причину и следствiе и пр. (...) || *Связь*, состоянiе по знч. гл. на **ся**; соединенье, скрепа, сцепленье, соотношенье, зависимость, причинное сродство; || товарищество, дружба и знакомство, взаимныя дела; || все, что собрано изъ различныхъ частей, но составляет одно. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67]. См. также *Информация*, *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*, *Причина*, *Причинность*, *ПРИЧИНЯТЬ*, *Следствие*.

"С некоторыми людьми мы строим отношения на правде. С другими - на лжи. И эти последние не менее прочны." (*Альбер Камю*; 1913-1960).

Связь - контакт, соединение, *соотношение*, зависимость, *причинное* сродство, общность между чем-либо, отношение взаимной зависимости, обусловленности и т.п. В науке, технике, *технологии* и в жизни различают связи - математические, физические, механические, химические, физиологические, биологические, социальные, родственные, семейные, интимные, *функциональные*, простые и сложные, прямые и обратные, внутренние и внешние, положительные и отрицательные, линейные и нелинейные, постоянные и *случайные* и др.

Связь (*мат.*) - отношение, возникающее между результатами *наблюдений* (*экспериментов*) и *параметрами*, вычисляемыми по этим данным. Параметр характеризует те или иные свойства изучаемого *явления*, поскольку имеет отношение взаимной зависимости со всеми *элементами выборки*. Например, *арифметическое среднее* связано со всеми элементами выборки, и его *определение* приводит к уменьшению *информационного* потенциала выборки на единицу, число степеней свободы выборки при этом становится равным $\nu=n-1$. Важным *следствием* уменьшения числа степеней свободы является некоторое увеличение *стандартного отклонения*. Определение *коэффициента* корреляции r_{xy} между *случайными величинами* x и y, по существу, сопровождается вычислением двух параметров $x_{ср}$ и $y_{ср}$, что приводит к уменьшению информационного потенциала выборки на две единицы, и число степеней свободы выборки становится равным $\nu=n-2$.

Связи в отношениях *причины* и *следствия* - такое отношение между отдельными *событиями*, при котором одно из событий (причина) при его осуществлении неизбежно влечёт за собой возникновение другого события (следствия), а уничтожение причины приводит к неосуществимости следствия. Например, прохождение электрического тока неизбежно приводит к нагреванию того субстрата, по которому протекает ток. Причинно-следственным связям свойственна *асимметрия*, поскольку скорость распространения материальных воздействий вполне конечна и не превышает скорости света. См. также *Информация, ОТНОСИТЬ, Отношение, Причинность, СВЯЗЫВАТЬ.*

Связь - отношение взаимной *зависимости*, обусловленности, общности между чем-нибудь... (*С.И.Ожегов*; 1900-1964. [75]). См. также *Информация, ОТНОСИТЬ, Отношение, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, СВЯЗЫВАТЬ, Следствие, Событие, СОБЫТИЕ.*

"**Середа, среда, середина, серединка, серединочка, средина, серёдка, серёдочка** ж. точка (на черте), черта (на плоскости) или плоскость, мнимый разрезъ (въ толще), обозначающіе половину, равный разделъ, или близкое отъ этого место, удаленное отъ краевъ. (...) || Нутро, внутренность, глубина, утроба, глубь, дальность отъ края. (...) || ***Середа*** или ***среда***, вещество, тело, толща, пластъ, более о веществахъ жидкихъ и прозрачныхъ. (...) || Община, общество, сборъ, толпа. (...) || ***Средина***, по времени, половина. (...) || **Середи, среди, средь, серёдъ** нар., **средэ** црк., посреди, въ (на) средине, по (на) середке, между, промежъ или окружонный чемъ-либо; || въ числе, изъ числа, между прочими. (...) [**Середина, серединка** см. *середа*]. **Серединковый, серединный, срединный, серёдковый** и **серёдочный**, въ середине находящійся, къ ней относящійся. (...) **Серединчатый, серёдчатый**, въ чомъ есть особая середка, серединка, ядро, мякоть, мозгъ ипр., пртвплжн. *глухой* или *сплошной*. (...) **Середній** или **средній**, что въ средине, между чемъ-либо, посреди крайностей, по месту и по времени, по мере, весу, числу, либо по качеству. Въ строгомъ смысле, въ математ. ***средняя цена, средняя сложность ценъ***: сумма несколькихъ ценъ (одного предмета), разделенная на их число. ***Средняя долгота, широта***, выведенная по такому жъ счисленью изъ многихъ данныхъ. *Среднее время*, равномерное, разделенное, для обихода, на равновременные часы, минуты; пртв. *ιß ιіі Ñ*, *астрономическое*, идущее не равномерным ходомъ, а по солнцу. (...) *Средний род* грам. ни мужскій, ни женскій, по местоименіям *сно, сіе, это*. *Средній залогъ* грам. глаголы, не переносящіе действія одного предмета на другой, или выражающіе состоянье: *сидеть, ходить, жить*. (...)". (*В.И.Даль*; 1801-1872) [69].

Симметрия (< *греч.* **бυμμετρια** - соразмерность, надлежащая пропорция, **симметрия**. *А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - (в общем смысле) соразмерность, полное соответствие в расположении частей целого *относительно* центра, средней линии, плоскости; строгая правильность в расположении, размещении чего-либо. 1. *мат.* Симметрия (в узком смысле) или отражение (зеркальное) относительно прямой *a* на плоскости, - преобразование плоскости такое, что каждая точка *М* переходит в точку *М'*, причём отрезок *ММ'* перпендикулярен прямой *а* и делится ею пополам. При этом прямая *а* называется осью симметрии. Аналогично в пространстве - симметрия относительно плоскости α - преобразование пространства, при котором каждая точка *М* переходит в точку *М'* такую, что отрезок *ММ'* перпендикулярен плоскости α и делится ею пополам. Плоскость α называется **плоскостью** симметрии. 2. *мат.* Симметрия (в широком смысле) - свойство геометрической фигуры Ф, характеризующее некоторую правильность *формы* Ф, неизменность её при действии движений и зеркальных отражений. Различают: центральную симметрию, осевую симметрию и симметрию переноса. 3. *физ.* Фундаментальное свойство *природы*, с которым *связаны* законы сохранения энергии, количества движения, массы и др. (например, свойства элементарных частиц, строение атомов и молекул, *структура* кристаллов). Некоторые *законы физики* инвариантны относительно определённых преобразований. Это значит, что законы, устанавливающие соотношение между *величинами*, характеризующими физическую *систему*, не изменяются при тех или иных преобразованиях. Аналогично для *динамических* систем (нестационарных процессов): если законы, устанавливающие соотношение между величинами, определяющих изменение этих величин со временем, не меняются при определённых преобразованиях, то эти законы обладают симметрией относительно производимых преобразований. 4. *биол.* Симметрия - зеркальное, билатеральное, радиальное или иное правильное расположение одноимённых частей тела или органов по отношению к некоторой оси или плоскости, называется осью или плоскостью симметрии.

В процессе развития науки и техники произошла трансформация симметрии из *термина* в *категорию*. См. также *Асимметрия*.

Синтез (*греч.* ϭυντηξιζ - 1) сплавливание; *в пер.* соединение. 2) расплавливание; *в пер.* изнурение, чахотка (*А.Д.Вейсман*; р.1834 г. [67]) - (*лог.*) *мысленное* соединение *элементов* объекта (субъекта), расчленённого в *процессе анализа*, установление взаимодействия и *связей элементов*, познание объекта (субъекта) как единого целого. Синтез неразрывно связан с анализом, который является началом изучения всего сущего. Выделенные в процессе анализа элементы (компоненты, части и т.п.) *системы* (объекта, субъекта) в процессе синтеза объединяются в единое целое. Полученное целое существенно отличается от исходного новым, более глубоким знанием - пониманием взаимодействия частей целого между собой и с окружающей *средой*.

Например, общение с человеком начинается с анализа его слов, мимики, жестикуляции и поступков. По достижении той или иной глубины анализа мы формируем (синтезируем) мнение о человеке, пытаемся определить степень понимания и принимаем решение о целесообразности общения с ним.

Анализ и синтез являются основой деятельности человека, а в своих простейших формах в значительной степени определяют поведение многих млекопитающих и не только. Люди различают умных и глупых животных, хитрых, осторожных, коварных и т.д. Однако аналитико-синтетическая деятельность даже высших животных непосредственно включена в их внешние действия. У человека кроме чувственно-наглядных форм анализа и синтеза есть высшие формы - мысленные или абстрактно-логические формы анализа и синтеза, явившиеся результатом практического расчленения и создания предметов. Процесс образования *понятий* основан на единстве анализа и синтеза.

Термины "анализ" и "синтез" ввёл Платон (Πλατων; 428 или 427 до Р.Х.- 348 или 347 до Р.Х.). См. также *Моделирование мысленное*, *Мысленная модель*, *Мысленный эксперимент*.

Система (< *греч.* σιστημα - составленное из многих частей, соединённое в одно целое, состав, соединение, стройное целое) - нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной *связи* частей: предметов, *явлений*, а также знаний о *природе*, обществе и мышлении. В науке, технике и *технологии* - *множество элементов* (узлов, агрегатов, приборов и тому подобных), *понятий*, норм с *отношениями* и *связями* между ними, образующих некоторую целостность, законченность, совершенство и подчинённых определённым задачам *функционирования*. Примеры систем: атомы, молекулы, макромолекулы (РНК, ДНК), клетки, организмы, популяции, механизмы, технологические системы, буровой агрегат и т.д. Для систем характерен уровень рассмотрения или вложения - макросистема, система, подсистема,..., микросистема. Уровней вложения (рассмотрения) может быть много; также можно говорить о параллельных подсистемах.

Сущность системы определяется способом взаимодействия элементов друг с другом и с внешним миром; свойства системы не являются совокупной суммой свойств составляющих её элементов, это качественно иное образование. По осуществимости взаимодействия элементов системы с внешним миром системы подразделяются на *открытые*, *закрытые* и *замкнутые*.

Открытая система - система, которая обменивается с внешней *средой* веществом и энергией. В общем случае открытыми системами являются все живые организмы, популяции (сообщества людей, животных, птиц, рыб, насекомых и так далее), *природные* и технологические системы с непрерывно протекающими процессами переноса количества движения, вещества и энергии.

Закрытая система - система, которая не имеет обмена веществом с внешней средой, возможен только обмен энергией. Примером закрытой системы может быть герметично закрытый бытовой термос. В отличие от бытового термоса сосуд Дьюара (по имени англ. физика и химика Дж.Дьюара (*J.Dewar*; 1842-1923), предназначенный для хранения и перевозки сжиженных *газов*, - система открытая.

Замкнутая система - в механике - система тел, на которые не действуют внешние силы, т.е. силы, приложенные со стороны других, не входящих в рассматриваемую систему тел; в термодинамике - система, которая не обменивается с внешней средой ни энергией, ни веществом. Другое название - изолированная система.

По температурному режиму системы подразделяются на системы изотермические (T=const), политропические и адиабатические (ΔH=const). Например, циркуляционная система скважины является политропической системой. По природе взаимодействия элементов системы друг с другом системы подразделяются на *детерминированные*, *стохастические* и *детерминированно-стохастические*.

Примером детерминированно-стохастической системы может быть система "буровой агрегат-пласт" - с одной стороны, процесс проводки скважины определяется вполне объективными *факторами*: прочностью породы, характеристикой долота, нагрузкой, скоростью вращения инструмента и т.д., а с другой стороны, осложняется множеством *случайных* факторов: флуктуаций вращения инструмента и нагрузки на него, случайных включений в пласт и углов встречи с ними и т.д. Примером детерминированно-стохастической системы также может быть автодром для кольцевых гонок и автомобили (мотоциклы и т.д.) - каждый участник которой каждый круг проходит по разным (случайным, по существу) траекториям и с разными скоростями. Другой пример, человек (и не только человек) - система детерминированно-стохастическая.

По характеру изменения *параметров* системы в пространстве и/или во времени системы подразделяются на *динамические*, *стационарные* и статические. Примером последней является геологическая система -

совокупность отложений горных пород, характеризующаяся определённой ископаемой фауной и ископаемой флорой, образовавшаяся в течение геологического периода, имеющая относительно определённые пространственные характеристики и *потоки* массы и энергии.

"**СЛЕДИТЬ** кого, идти по следамъ, искать или преследовать по приметамъ или какимъ либо признакамъ пути. (...) || - за кемъ, за чемъ, наблюдать, узнавать обо всемъ, что до этого предмета относится, стараться знать, что кто делает, или каковъ ходъ дела. (...) **Следъ**, м. или *следы*, признакъ, примета чего либо прошлаго, бывшаго, остатокъ, отпечатокъ; влiянiе минувшаго, былаго; улика и поличное. (...) || Оттискъ, отпечатокъ ступни, ногъ, лапъ, или колеи колесъ, полозьевъ, прокаченной или протащенной вещи. (...) ***Следовать*** за кемъ, за чемъ, идти или ехать следомъ, вследъ. (...) || *Следовать* кому и чему, подражать, поступать по примеру чего, согласно съ чемъ. (...) || *Следовать* из чего быть следствiемъ, заключеньемъ чего, какъ явленiе и причина его; зависеть отъ известныхъ условiй, явствовать изъ чего, как необходимое, неизбежное дело или очевидность. (...) || *Следуетъ, следовало,* безлично: должно, нужно, надо, надлежитъ, прилично, необходимо, сокрщ. следъ. (...) || *Следовать*, что, делать следствiе, разыскивать, дознавать, разбирать. (...) ***Следствiе*** ср. следованье, в] знач. действiя, розыскъ по делу. (...) || *Следствiе*, последствiя, то, что за чемъ неминуемо следуетъ, конечное проявленье действiя, причины, повода. (...) || *Въ следствiе* чего, или *вследствiе*, какъ нар. по причине, для, ради чего, отчего, почему, на основании чего. || *Следствiе* из чего, заключенье, выводъ. (...) **Следовательно**, **следственно** нар. итак, посему, стало быть, изъ сего явно, следуетъ, видно, ясно, верно. (...)" (*В.И.Даль;* 1801-1872) [67]. См. также *Информация, ОТНОСИТЬ, Отношение, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ.*

"Одно из самых распространённых заблуждений - принимать результат события за его неизбежное следствие" (*Гастон де Левис;* 1764-1830).

Следствие - то, что *физически* или логически с необходимостью вытекает из чего-либо другого, как из *причины* или основания. См. также *Информация, ОТНОСИТЬ, Отношение, Следить.*

"Случай - это нелепая и необходимая причина, которая ничего не приготовляет, ничего не устраивает, ничего не выбирает и у которой нет ни воли, ни разума." (*Франсуа Фенелон*; 1615-1715).

"**СЛУЧАЙ** м. (*со-лучать*) быть или быль, приключенье, происшествiе, притча, дело, что сталось, случилось, сбылось; обстоятельство, встреча; все нежданное, не предвиденное, внезапное, нечаянное. (...) *Случай*, случайное или удобное, спопутное къ чему время, пора, обстоятельство; нечаянное совпадение, либо встреча чего. (...) *Случай* или ***случайность***, безотчетное или безпричинное начало, въ которое веруют, отвергающiе провиденье. (...) ***Случайный***, о деле, нечаянный, недуманный, случившiйся, приключившiйся собою, безъ чьего либо умысла, намеренья, старанья. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

"Весьма вероятно наступление невероятного" (*Агафон*; V-IV в. до Р.Х.).

Случайная величина - *величина*, значение которой невозможно предсказать исходя из условий *эксперимента* или *наблюдений*. Результаты измерений *физических* величин по существу случайные величины. Случайные величины могут изменяться непрерывно (температура, давление, *концентрация*, радиус *частиц* дисперсной фазы) или дискретно (число "очков" в азартной игре, число частиц, число дефектов, число отказов, аварийность). Например, если представляет интерес количество монет, всё ещё находящихся в обращении, как *функция* их возраста, то можно реализовать два подхода к решению этой *проблемы*. Если в качестве случайной величины использовать год чеканки монеты, т.е. $X=\ldots,\ 1999,\ 2000,\ 2001,\ 2002,\ 2003,\ \ldots$, то *анализировать* придётся дискретные случайные величины, а если массу монеты, - то непрерывные случайные величины. Между непрерывными и дискретными случайными величинами есть существенное отличие - равенство первых невозможно, вторых - возможно. Невозможность равенства непрерывных случайных величин обусловлена ограниченной точностью измерения и/или ограниченной точностью математической обработки данных.

См. также *Случай*, *Случайное событие*, *Эмпирическое распределение*. Подробно см., например, [6, 7, 17, 20, 25, 26, 29, 33].

"Случайность главным образом зависит от нашего знания" (*Якоб Бернулли*; 1654-1705).

Случайное событие - *событие*, наступление или ненаступление которого в некотором испытании (*эксперименте*) зависит от ряда случайных *факторов* и для которого постулируется определённая вероятность его наступления при данных условиях. Случайное событие - одно из основных *понятий вероятностей теории*. Наличие у случайного события определённой вероятности p_1 проявляется в поведении его частоты n_1/n в n повторных испытаниях, которые происходят в неизменных условиях; при больших n частота n_1/n оказывается близкой к вероятности p_1. В отличие от вероятности частота является случайной величиной. См. также *Случай, Случайная величина, СОБЫТИЕ*.

Смешения путь см. *Путь смешения*.

"**СОБЫТИЕ, событность** кого съ кемь, чего съ чемь, пребывание вместе и въ одно время; *событность происшествій*, совместность, по времени, современность. ***Событныя*** *происшествія*, современные, въ одно время случившіеся. || *Событіе*, происшествіе, что сбылось, см. *сбывать*. Это ***событчик*** *мой* бывший где либо со мною вместе, в одно время, сосвидетель." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68]. См. также *Событие*.

"Когда надо постичь какие-либо события, то исходя из места и времени, на различение предшествующего и последующего опирается в своих рассуждениях человек". (*Тхакура Видьяпати*; 1380-1466).

Событие - то, что произошло, то или иное **уникальное** *явление*, случившийся факт. Событие может быть *причиной*, может быть *следствием*. Событие как явление окружающего нас мира может пройти незамеченным, а может быть целью. В последнем случае можно говорить о событии как результате *наблюдения*. Современное толкование события существенно отличается от толкования события Владимиром Далем в 19 в. См. также *Причинность, Связь, Случайное событие*.

"**СОВОКУПЛЯТЬ, совокупить** что съ чемь, придавать, прибавлять, соединять; собирать вместе, въ одно, сочетать, пріобщать. (...) ***Совокупный***, вместный, совместный; соединённый, пріобщённый; общій. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68]. См. также *Совокупность*.

Совокупность (< *цслав., ст.-слав.* ***совокоупити*** < *др.-русск., цслав.* ***вкупе*** - вместе, ***куп*** - куча. *М.Фасмер*; (1886-1962) [85]) -

1. Сообщество, сочетание, соединение, общее число, сумма. 2. *мат.* *Понятие* теории *статистического выборочного метода*. В *статистике математической* совокупностью называется *множество* каких-либо однородных *элементов*, из которого по определённому правилу выделяется некоторое подмножество, называемое *выборкой*. Например, при приёмочном статистическом контроле в роли совокупности выступает множество всех изделий, подлежащее общей характеризации. В простейших случаях контролируемая выборка извлекается из совокупности *случайно* (наугад), что с точки зрения *вероятностей теории* означает: если совокупность содержит N элементов и отбирается выборка из n элементов ($n<N$), то выбор должен быть осуществлён таким образом, чтобы для любой группы из n элементов вероятность быть извлечённой равнялась $n!(N-n)!/N!$.

В практике *экспериментальных* исследований и в математической статистике выборкой из совокупности принято также называть результаты измерений какой-либо физической *величины*, подверженной случайным ошибкам. В этом случае под совокупностью подразумеваются все возможные значения физической величины. Для решения практических задач *бесконечное* множество значений интереса не представляет; практический интерес представляют те или иные характеристики соответствующей *функции распределения* $F(x)$. В этом случае выборка из бесконечной совокупности представляет собой наблюдаемые значения нескольких случайных величин, по которым определяются необходимые *параметры*. См. также *СОВОКУПЛЯТЬ*. Подробно см., например, [6, 7, 17, 20, 25, 26, 29, 33].

Состояние - 1. *Процесс* развития сложной *системы*. 2. Пространственное и/или временное положение, в котором находится система в данный *момент* времени. 3. Равновесие термодинамической системы. 4. *Совокупность* нервных и психических реакций человека в данный момент времени. Потенциальная готовность к тем или иным поступкам.

Понятие "состояние" имеет место и в *природе*, и в обществе. В природе в первом приближении состояний четыре: твёрдое, *жидкое*, *газообразное* и плазменное. Переход вещества из одного состояния в другое сопровождается выделением или поглощением скрытой теплоты фазового (агрегатного) перехода. Переход обратим и происходит скачкообразно. В живом веществе биосферы подобный переход необратим, поскольку *связан* с гибелью организма. Казалось бы, для организма может быть только два состояния - жизнь и смерть, но поскольку смерть есть уничтожение организма по существу, то нельзя называть этот момент перехода "состоянием". Аналогом процесса жизни в веществе земной коры является кристаллизация минералов и последующая их метаморфизация в аморфные массы или перекристаллизация. Подробнее см. [11]. См. также *СОСТОЯТЬ*, *Состоять*.

Состоятельная оценка - статистическая *оценка параметра распределения вероятностей*, обладающая тем свойством, что при увеличении числа *наблюдений вероятность* отклонений оценки от оцениваемого параметра на величину, превосходящую некоторое наперёд заданное число, стремится к нулю. Оценка параметра называется состоятельной, если по мере роста числа наблюдений $n \to \infty$ она стремится к *математическому ожиданию* оцениваемого параметра. Так, выборочные *среднее* и *дисперсия* представляют собой состоятельные оценки соответственно математического ожидания и дисперсии нормального распределения.

"**СОСТОЯТЬ** изъ чего, быть составлену, заключать въ себе составныя части, и слагаться изъ нихъ. (...) || - въ чемъ, содержаться, заключаться, составлять сущность чего. (...) Находиться или быть. (...) ***Состояться***, исполниться, сбыться, свершиться. (...) ***Состоянье***, бытъ, положенье, въ каком кто или что состоитъ, находится, есть; отношения предмета. (...) || Сословіе, званіе, каста; званіе, родъ занятій и родъ жизни, по рожденью, либо наследственно, или по избранью. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68]. См. также *Состоять*.

"**Состоять** изъ чего, быть составлену, заключать въ себе составныя части, и слагаться изъ нихъ. (...) *Полное сужденье состоитъ изъ трёхъ частей: изъ общаго даннаго, изъ приложенья его и изъ заключенья*. (...) || - въ чомъ, содержаться, заключаться, составлять сущность чего-либо. (...) **Состояться**, исполниться, сбыться, совершиться. (...)." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [69]. См. также *СОСТОЯТЬ*.

Состоять - 1. Иметь что-либо в своём составе. 2. Иметь содержанием, сутью что-нибудь.

Сплошная среда - *среда*, заполняющая пространство непрерывно, сплошным образом, без скачков и разрывов, без флуктуаций плотности и др. *физических* характеристик. Сплошная среда - непрерывное *множество* (*совокупность*) точек с непрерывным (в общем случае, - кусочно-непрерывным) *распределением* по нему кинетических, *динамических*, термодинамических и других физико-химических характеристик среды. Сплошными средами могут быть индивидуальные *жидкости* и *газы*, смеси газов, растворы различных веществ в жидкостях, расплавы металлов и солей.

Гипотеза сплошности предполагает, что в среде нет флуктуаций плотности, нет разрывов, все свойства непрерывным образом зависят от пространственных *координат*. Уравнение сплошности потока имеет вид:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho\cdot\left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) = 0. \qquad (С\text{-}1)$$

См. также (И-9), (Л-2), (С-1), (С-5), (С-6), (С-22).

Гипотеза сплошности позволяет при описании явлений переноса в сплошной среде активно пользоваться аппаратом дифференциального исчисления [2, 3, 36, 43, 48]. Например, уравнение течения жидкости в напряжениях (или уравнение баланса сил, действующих в текущей жидкости, *отнесённых* к единице объёма, Н/м³) имеет вид:

$$\begin{cases}\rho\cdot\left(w_x\dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_x}{\partial z} + \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau}\right) = \rho P_x + \left(\dfrac{\partial б_{xx}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yx}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zx}}{\partial z}\right); & (С\text{-}2)\\ \rho\cdot\left(w_x\dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_y}{\partial z} + \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau}\right) = \rho P_y + \left(\dfrac{\partial б_{xy}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yy}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zy}}{\partial z}\right); & (С\text{-}3)\\ \rho\cdot\left(w_x\dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_z}{\partial z} + \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau}\right) = \rho P_z + \left(\dfrac{\partial б_{xz}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yz}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zz}}{\partial z}\right). & (С\text{-}4)\end{cases}$$

где ρP_x, ρP_y, ρP_z - проекции удельной массовой силы на оси x, y и z, соответственно, (P_x, P_y, P_z имеют размерность ускорения, м/с²); составляющие $б_{xx}$, $б_{yy}$ и $б_{zz}$ являются *нормальными* напряжениями, вызывающими растяжение или сжатие движущейся жидкости вдоль соответствующих осей; составляющие $б_{yx}$ и $б_{zx}$, $б_{xy}$ и $б_{zy}$, $б_{xz}$ и $б_{yz}$ являются соответствующими касательными напряжениями [27]. Уравнения (С-2)-(С-4) получены без каких-либо условий *относительно* свойств жидкости, описывают общие закономерности механики сплошной среды и применимы к любым подвижным средам. Однако в уравнения (С-2)-(С-4) входят производные касательных и нормальных напряжений, которые невозможно определить экспериментально. Для перехода от уравнений течения в напряжениях к уравнениям, содержащим только составляющие скорости, необходимо учесть свойства жидкости и структуру *потока*.

Связь касательных напряжений с градиентом скорости при *ламинарном течении* выражается законом вязкого трения Ньютона. *Параметр* этого уравнения - динамическая вязкость, будучи поделённым на плотность, является параметром дифференциальных уравнений *ламинарного течения* Навье-Стокса (И-1), (Л-1). Динамическая вязкость и плотность являются также параметрами дифференциальных уравнений *турбулентного течения* Рейнольдса в напряжениях (Т-1).

См. также *Середа, Сплошности потока уравнение.*

Сплошности потока уравнение - *закон* сохранения массы подвижной *среды* в произвольной точке:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0. \qquad (С-5)$$

Уравнение (С-5) - так называемое уравнение неразрывности потока. Если три последних слагаемых продифференцировать и выделить полную производную плотности по времени, $d\rho/d\tau$, то после соответствующих преобразований уравнение (С-5) примет иной вид:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho\cdot\left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) = 0, \qquad (С-6)$$

которое и называется собственно уравнением неразрывности потока. Уравнение неразрывности потока констатирует факт непрерывности изменения плотности в *процессе* течения *жидкости*, а также отсутствие разрывов среды и флуктуаций плотности.

Изменение плотности сплошной среды в процессе течения может обусловливаться изменением температуры и/или давления. *Жидкости* подразделяются на сжимаемые и несжимаемые. К первым относятся *газы*, плотность которых сильно зависит от температуры и давления. Ко вторым относятся подвижные среды - собственно жидкости и растворы различных веществ в них, расплавленные металлы, плавы солей и т.д., - так называемые капельные жидкости. При относительно небольших изменениях температуры и давления их плотность практически не меняется. При высоких и сверхвысоких давлениях плотность капельных жидкостей изменяется. Непосредственное отношение к сплошности потока имеют уравнения (И-1), (И-2), (Л-1), (Л-2), (С-1), (С-2), (С-3), (С-4), (С-21), (С-22).

См. также *Газ, Жидкость, Изоморфизм математический, Ламинарное течение, Состояние, Сплошная среда, Среда, Структура потока.*

Среда - концептуальное пространство, содержащее *множество* однородных *элементов*, находящееся в контакте (во взаимосвязи) с другим пространством или субстанцией. Среда может быть внешняя и внутренняя, *сплошная* и дискретная. Для среды характерно стремление к "гомеостазу", т.е. сохранение целостности, сопротивление всяческим "насильственным" изменениям, - перемещениям элементов, изменению количества, нарушению *функционирования*, *структурным* изменениям и т.п. И в то же время среда способна естественно развиваться.

Однородные элементы подразумеваются в самом широком смысле: атомы, молекулы, ионы (*сплошная среда*); люди, разговаривающие на одном языке (языковая среда); люди одного уровня образования, развития, характера деятельности (культурная среда, интеллектуальная среда, среда общения, криминальная среда и т.п.). Среда может быть комфортная и дискомфортная.

Интеллектуальная среда - среда, способствующая мышлению. Что и как человек думает, какие он строит *мысленные модели*, имеет первостепенную важность.

В последние десятилетия наблюдается расширение *понятия* "среда": социальная среда (*совокупности* людей: государство, общество, община, сбор, коллектив, толпа, очередь и т.п.); производственная среда; операционная среда (элементы компьютеров и программное обеспечение); образовательная среда (школы, специализированные образовательные учреждения различного уровня, лицеи, вузы); биоэнергетическая среда (люди, способные изменять биоэнергетический потенциал, как свой, так и чужой); среда обитания (*природный* ландшафт, живые существа и растения). В этих (и других) случаях можно говорить о среде как о множестве функционально связанных разнородных элементов.

Бывают среды, являющиеся одновременно и внешними, и внутренними. Например, дисперсионная среда в суспензиях и эмульсиях является внутренней средой по *отношению* к окружающему пространству (*технологическому аппарату*, грунту и т.д.) и внешней средой по отношению к частицам твёрдой фазы в суспензиях и частицам другой жидкой фазы в эмульсиях. Среда может быть подвижной и неподвижной, сплошной (дисперсионной средой) и несплошной (дисперсной фазой), гомогенной и/или гомофазной.

См. также *Газ*, *Жидкость*, *Определение*, *ПОНИМАТЬ*, *Понятие*, *Процесс*, *Середа*, *Состояние*, *Сплошная среда*. См. также [65, с.548].

Среднее арифметико-геометрическое см. *Середа, Среднее, среднее значение.*

Среднее арифметическое см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-8).

Среднее арифметическое взвешенное см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-9).

Среднее гармоническое см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-13).

Среднее геометрическое см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-14).

Среднее квадратичное см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-15).

Среднее кубическое см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-16).

Среднее степенное взвешенное см. *Середа, Среднее, среднее значение,* (С-11).

"Середина есть точка, ближайшая к мудрости; не дойти до неё - то же самое, что её перейти" (*Конфуций*; 552-479 гг. до Р.Х.).

Среднее, среднее значение *совокупности* чисел x_1, x_2, ..., x_n - концептуальное число, заключённое между наименьшим и наибольшим из них и получаемое из *элементов* выборки при помощи некоторой процедуры, которая как раз и определяет специфический вид среднего значения. Среднее значение может быть целью исследования, а может привлекаться для характеристики совокупности в целом как один из *моментов* или как *оценка математического ожидания*. Среднее значение совокупности выражает равнодействующую влияния *множества факторов* на вариацию признака независимо от вида *распределения* случайной величины. Среднее значение подобно центру тяжести - точке, через которую проходит равнодействующая сил тяжести всех *элементов выборки*. Таким образом, можно говорить об уравновешивании отклонений от среднего значения в *асимметричном* распределении, а непосредственное взаимопогашение отклонений от среднего значения, присущее нормальному распределению, рассматривать как частный случай уравновешивания (проявление *закона* равновесия), которое не изменяет *природы* среднего значения и отклонений от него [12, 15].

Среднее значение - *понятие статистики математической*, по существу, некоторая **абстрактная** *величина*, зависящая от *метода* вычисления и удовлетворяющая условию:

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{ср}) = \min. \qquad (С-7)$$

В научных исследованиях технологических процессов в большинстве случаев никаких проблем с исчислением среднего значения не возникает. Наиболее употребительным средним является **арифметическое среднее**:

$$x_{ср} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}. \qquad (С-8)$$

Если результаты *наблюдений* x_1, $x_2, \ldots, x_n$ являются взаимно независимыми *случайными* величинами, имеющими одинаковое *нормальное* распределение, то среднее арифметическое будет *несмещённой, состоятельной* и *эффективной оценкой* математического ожидания M_x. Вероятная ошибка определения среднего арифметического всегда поддаётся оценке. Уместно отметить, что среднее арифметическое является частным случаем одного неизвестного метода наименьших квадратов.

Если *переменные* величины x_i имеют различные *частоты* или вес, правильнее вычислять арифметическое взвешенное среднее:

$$x_{ср,w} = \bar{x}_w = \frac{W_1 x_1 + W_2 x_2 + \ldots + W_n x_n}{W_1 + W_2 + \ldots + W_n}, \qquad (С-9)$$

где W_i - частота или вес i-того *наблюдения*. Например, средний взвешенный диаметр бурильной колонны определяется по формуле:

$$\bar{d}_w = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \ldots + d_n l_n}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n}, \qquad (С-10)$$

где d_i - диаметр i-того элемента бурильной колонны, l - длина i-того элемента, n - количество элементов в бурильной колонне.

В науке, технике и технологии кроме арифметического среднего применяют также взвешенное степенное среднее:

$$x_{w,\alpha} = \left(\frac{W_1 x_1^{\alpha} + W_2 x_2^{\alpha} + \ldots + W_n x_n^{\alpha}}{W_1 + W_2 + \ldots + W_n}\right)^{1/\alpha}. \qquad (С-11)$$

Если частоты или веса всех наблюдений равны, то формула (С-11) упрощается:

$$\bar{x}_\alpha = \left(\frac{x_1^\alpha + x_2^\alpha + \ldots + x_n^\alpha}{n} \right)^{1/\alpha}. \qquad (C-12)$$

Степень α определяет конкретный вид среднего значения. При α=-1 общая формула степенного среднего превращается в гармоническое среднее, т.е. в среднее из обратных величин:

$$x_h = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \ldots + \frac{1}{x_n}}. \qquad (C-13)$$

При α=0 получим геометрическое среднее:

$$x_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \ldots x_n}, \qquad (C-14)$$

При α=1 получим формулу среднего арифметического (С-8).
При α=2 получим формулу среднего квадратичного:

$$x_s = \sqrt{(x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_n^2) : n}, \qquad (C-15)$$

При α=3 получим формулу среднего кубического:

$$x_{cub} = \sqrt[3]{(x_1^3 + x_2^3 + \ldots + x_n^3) : n}. \qquad (C-16)$$

В науке и технике находит применение также арифметико-геометрическое среднее, $x_{cp,g}$. Арифметико-геометрическое среднее - общий предел последовательностей арифметического среднего $x_{cp,n}$ и геометрического среднего $x_{g,n}$, получаемых в результате следующих операций. Для пары положительных чисел a и b вычисляют арифметическое среднее $x_{cp,1}$ и геометрическое среднее $x_{g,1}$. Далее для пары $x_{cp,1}$ и $x_{g,1}$ снова вычисляют арифметическое среднее $x_{cp,2}$ и геометрическое среднее $x_{g,2}$ и т.д. В результате получают последовательность чисел $x_{cp,n}$ и $x_{g,n}$, n=1, 2,...

Анализ формулы (С-11) позволяет определить *соотношения* между различными видами среднего. Чем больше значение α, тем больше величина среднего значения; при этом получается следующая цепочка неравенств:

$$x_h < x_g < x_{cp,g} < \bar{x} < x_s < x_{cub}. \qquad (C-17)$$

Например, если $x_1=1$, $x_2=2$, $x_3=3$, то $x_h=1,636$; $x_g=1,817$; $x_{cp.g}=1,9075$; $x_{cp}=2$; $x_s=2,161$; $x_{cub}=2,29$. *Дисперсии*, соответственно, равны: $s^2{}_h=1,1987$; $s^2{}_g=1,0502$; $s^2{}_{cp.g}=1,0128$; $s^2{}_{cp}=1,0$; $s^2{}_s=1,0389$; $s^2{}_{cub}=1,1262$. Очевидно, что разные виды средних различаются; отсюда возникает **проблема** правильного выбора *формы* среднего значения. Решающую роль здесь играет физическая *сущность* объекта (*процесса, явления*), интуиция и добросовестность исследователя.

Следует отметить, что задача поиска среднего значения для *симметрично* распределённой случайной величины решается относительно просто. В этом случае можно говорить о взаимной компенсации противоположных влияний *множества факторов*, влияющих на результат наблюдения (*эксперимента*). Иное дело - несимметричное распределение. В *асимметричном* распределении случайной величины противоположные влияния различных факторов не компенсируют друг друга, и результаты наблюдений концентрируются либо слева, либо справа от середины диапазона распределения, кроме этого распределение может быть островершинным и плосковершинным и иногда иметь два максимума. Для таких распределений среднее значение выражает равнодействующую влияния всех факторов на вариацию случайной величины. Среднее значение подобно центру тяжести - точке, через которую проходит равнодействующая всех гравитационных *сил*. В IV в. до Р.Х. понятия среднего значения не было, интуитивная и неформализованная идея об оптимальных *свойствах* средних исходила от Аристотеля ('Αριδτοτεληζ; 384-322 до Р.Х.) - понятие "*истинная* середина", учение о достоинствах среднего поведения, средней уверенности, средней умеренности и т.д. "Прекрасна во всём середина: мне по душе ни избыток, ни недостаток" (*Демокрит* (Δημοκριτοζ); 460/470 - 360/370 г. до Р.Х.). В III в. до Р.Х. Архимед ('Αρχιμηδηζ; ок. 287-212 до Р.Х.) ввёл понятие "центр тяжести", соответствующее понятию среднего значения. В учебнике Теона Смирнского (II в.) идёт речь о разработке центрального члена непрерывной пропорции (в то время ещё не различали понятия среднего значения и пропорции). Разработку определения центрального члена непрерывной пропорции следует, по-видимому, считать началом развития понятия среднего значения. А в XX в. статистик У.Дж.Рейхман написал: "Каждый понимает, что такое средние, до тех пор, пока не начнёт применять их" [45]. См. также *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*, *Середа*.

Стандарт (*англ.*, *нем.* - standard) - 1. *Норма*, образец, мерило, *модель*, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других подобных объектов. 2. Нормативно-технический документ. 3. Нечто шаблонное, трафаретное, не содержащее в себе ничего необычного, исключительного, творческого. 4. Стандартный, типовой, нормальный. 5. Квадратичное отклонение, см. *Дисперсия*.

Стандартизация случайной величины см. *Дисперсия*, *ОТНОСИТЬ*, *Отношение*, *Приведение переменных*.

Стандартное отклонение - то же, что и квадратичное отклонение. См. *Дисперсия*.

Статистика (< *нем.* Statistik - статистика < *позднелат.* (collegium) statisticum - (статистическая) коллегия < *лат.* status - установленный, назначенный, определённый; гражданское состояние, сословие, общественная ступень < *лат.* stare - стоять. [71, 76]) - *функция* от результатов *наблюдений*. Другими словами, статистики - характеристики *выборки* в отличие от *параметров*, характеризующих *совокупности*. По одной и той же выборке можно определить несколько статистик, например, *среднее значение*, начальные и центральные *моменты* эмпирического распределения. Так как результаты наблюдений являются *случайными величинами*, то статистики будут тоже случайными величинами. Поэтому, если та или иная статистика используется для *оценки* параметра θ, то для отдельных выборок могут получиться значения, сильно отличающиеся от истинного. Очевидно также, что нельзя найти оценку, которая принимала бы значения, близкие к θ для всех возможных выборок. Целесообразно принимать такую процедуру оценивания, которая при многократном использовании давала бы хорошие результаты "в среднем" или имела бы значительную *вероятность* успеха. Другими словами, следует иметь в виду, что методы оценивания порождают распределения значений оценок, и сравнивать их достоинства следует исходя из свойств этих распределений.

Статистика более общее *понятие*, чем оценка. См. также *Статистика математическая*.

"Статистика есть наука о том, как не умея мыслить и понимать, заставить делать это цифры." (*В.О.Ключевский*; 1841-1911).

Статистика математическая (< *нем.* Statistik - статистика < *позднелат.* (collegium) statisticum - (статистическая) коллегия <

лат. status - установленный, назначенный, определённый; гражданское состояние, сословие, общественная ступень < *лат.* stare - стоять. [71, 76]) - раздел математики, посвящённый математическим методам систематизации, обработки и использования статистических данных для научных и практических выводов. При этом статистическими данными называются сведения о количестве объектов в какой-либо более или менее обширной *совокупности*, обладающих теми или иными признаками. Задачей математической статистики является переход от **частностей** к свойствам совокупности. Другими словами, это наука, изучающая массовые случайные *явления* и пытающаяся описать это математически строгими закономерностями.

Предмет и *метод* математической статистики. Статистическое описание совокупности объектов занимает промежуточное положение между индивидуальным описанием каждого из объектов совокупности, с одной стороны, и описанием совокупности по её общим свойствам, совсем не требующим её расчленения на отдельные объекты, - с другой.

Метод исследования, опирающийся на рассмотрение статистических данных о тех или иных совокупностях объектов, называется *статистическим*. Статистический метод используется в самых различных областях знания.

Общие черты статистического метода в различных областях знания сводятся к подсчёту числа объектов, входящих в те или иные группы, рассмотрению *распределения* количественных признаков, применению *выборочного метода* (в случаях, когда детальное исследование всех объектов обширной совокупности затруднительно), использованию *теории вероятностей* при *оценке* достаточности числа *наблюдений* для тех или иных выводов и т.п. Эта формальная математическая сторона статистических методов исследования, безразличная к специфической *природе* изучаемых обьектов, и составляет предмет математической статистики.

Связь математической статистики с теорией вероятностей имеет в разных случаях различный характер. Теория вероятностей изучает не любые *явления*, а явления случайные и именно "вероятностно случайные", т.е. для которых имеет смысл говорить о соответствующих им распределениях вероятностей. Тем не менее теория вероятностей играет определённую роль и при статистическом изучении массовых явлений любой природы, которые могут не *относиться* к *категории* вероятностно случайных. Это осуществляется через основанные на теории вероятностей теорию выборочного метода и теорию ошибок. В этих случаях вероятностным закономерностям подчинены не сами изучаемые явления, а приёмы их исследования.

Причинами возникновения и развития математической статистики являлись практические потребности общества. Подробно см., например, [1, 5, 6, 7, 10, 17, 20, 25, 26, 29, 33].

Стационарность (< *лат.* statio, onis - стояние; твёрдая позиция; положение, состояние; stationarius - караульный, сторожевой; неподвижный.- *И.Х.Дворецкий.* [71]) - постоянство во времени определяющих характеристик *процесса* или *системы*. В случае обратимых химических реакций можно говорить о равновесном стационарном *состоянии*. См. также *Динамика, Динамическая система, Динамический процесс, Стационарный процесс*.

Стационарный процесс (< *лат.* statio, onis - стояние; твёрдая позиция; положение, состояние; stationarius - караульный, сторожевой; неподвижный.- *И.Х.Дворецкий.* [71]) - *процесс* течения *жидкости* (пара, *газа*), передачи теплоты и/или переноса массы, осуществляемый так, что в каждой точке *системы* скорости *частиц*, давление, температура, *концентрации* компонентов и др. характеристики постоянны во времени.

В случае получения *моделей структуры потоков* реального *аппарата* стационарность процесса может быть *относительна*. Расход жидкости (пара, газа), поле скоростей в проточном аппарате (в трубопроводе, в скважине) должны быть постоянны во времени, а концентрация *трассера* во всех точках аппарата (трубопровода, скважины) при *импульсном* вводе будет изменяться во времени до полного исчезновения. В случае ступенчатого возмущения стационарность будет наблюдаться в конце испытания, когда концентрации трассера на входе и выходе сравняются.

См. также *Динамика, Динамическая система, Динамический процесс, Стохастический процесс*.

Стохастический процесс (< *греч.* **στοχαστικός** - умеющий целить, попадать; умеющий верно отгадывать, судить) - *процесс*, течение которого может быть различным в зависимости от случая и для которого существует *вероятность* того или иного течения. Например, процесс проводки скважины осложняется изменением направления скважины, жёлобообразованием, прожилками твёрдых пород, проявлениями, поглощениями и многими другими негативными процессами и *факторами*. Кольцевые гонки на автомобилях (мотоциклах и т.д.) на автодроме являются стохастическим процессом, т.к. каждый участник которого каждый круг проходит по разным (случайным, по существу) траекториям и с разными скоростями. Жизнь человека (и не только человека) в значительной степени процесс *детерминированно-стохастический*.

См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Стохастический процесс, Сущность, Явление*.

Структура (< *лат.* structura - строение, расположение, порядок. - *И.Х.Дворецкий*. [72] < *лат.* struere - класть друг на друга; строить, располагать, размещать < sternere - стлать, расстилать; раскладывать. [77]) - *совокупность* устойчивых *связей* объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях. В более широком, нестрогом смысле *понятие* "структура" употреблялось в научном и философском обиходе достаточно давно (по крайней мере со средних веков) и выступало в качестве одного из способов определения понятия ***формы*** (форма как структура, организация **содержания**). В строгом смысле понятие "структура" впервые развивается в химии в связи с возникновением в 19 в. теории химического строения вещества. В современной науке понятие "структура" обычно *соотносится* с понятиями *системы* и организации. Хотя единой точки зрения на соотношение этих понятий нет, однако в большинстве случаев в качестве наиболее широкого из них рассматривают понятие системы, характеризующее всё *множество* проявлений некоторого сложного объекта (его *элементы*, строение, *связи*, *функции* и т.д.). Структура выражает лишь то, что остаётся устойчивым, относительно неизменным при различных преобразованиях системы; организация же включает в себя как структурные, так и *динамические* характеристики системы, обеспечивающие её направленное функционирование.

Принято счтать, что в ньютоновских жидкостях стуктура отсутствует, т.е. отсутствуют связи между молекулами жидкости, которые разрушались бы с увеличением скорости деформации (это мнение справедливо для *газов* и неполярных жидкостей, например, бензола, предельных углеводородов и т.п., а в действительности, например, вода и ее смеси с этанолом даже очень структурированные жидкости). Это приводит к тому, что *коэффициент динамической* вязкости не изменяется с увеличением скорости деформации. Неньютоновские жидкости отличаются тем, что коэффициент динамической вязкости (наблюдаемая вязкость, локальная вязкость) изменяется с увеличением скорости деформации (у дилатантных жидкостей увеличивается, у большинства других уменьшается). Неньютоновские жидкости - это высокомолекулярные жидкости, растворы высокомолекулярных веществ, суспензии, эмульсии, композиции на основе воды, высокомолекулярных и поверхностно-активных веществ, белков, жиров и т.п. В таких системах элементы взаимодействуют со своим ближайшим окружением, *среда* как бы сшита *множеством* связей. В *процессе* нагружения жидкости среда либо сопротивляется до определённого предела (тела Шведова-Бингама, вязкопластичные жидкости), а потом начинается разрушение структуры, либо наблюдается постепенное разрушение структуры (псевдопластичные жидкости). В обоих случаях с ростом скорости деформации молекулы или длинные твёрдые *частицы* ориентируются вдоль линий тока, наблюдаемая вязкость уменьшается, жидкость разжижается. Есть и более сложные случаи разрушения структуры и структурообразования при сдвиге (вязкоупругие, дилатантные, реопектические, тиксотропные жидкости).

См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Модель, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Сущность, Явление.*

Структура потока (< *лат.* structura - строение, расположение, порядок. - *И.Х.Дворецкий.* [71] < *лат.* struere - класть друг на друга; строить, располагать, размещать < sternere - стлать, расстилать; раскладывать. [76]) - поле скоростей *частиц* (*комков*) *жидкости* (молекул *газа*), которое определяет отсутствие или наличие перемешивания частиц *потока* (молекул газа). В случае перемешивания частиц потока можно говорить о степени перемешивания, которая определяет поле *концентраций* и градиент температуры (поле концентраций и градиент температуры определяются также молекулярной диффузией и теплопроводностью *среды*, но в случае течения жидкости или газа ими в рассматриваемом аспекте можно пренебречь).

Поле скоростей частиц потока *идеальной* жидкости при *ламинарном течении* описывается уравнениями Эйлера (*Leonhard Euler*; 1707-1783) (И-1) и (С-18) (см. след. стр.).

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x}; \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y}; \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial z}\right) + g + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z}. \end{cases} \qquad (\text{С-18})$$

При ламинарном течении идеальной жидкости в трубчатом *аппарате* идеального вытеснения все частицы потока движутся строго параллельно оси аппарата, и время пребывания всех комков одинаково. Уравнение *модели* идеального вытеснения (4.9) имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w \cdot \frac{\partial c}{\partial l}, \qquad (\text{С-19})$$

где $\partial c/\partial \tau$ - скорость изменения *концентрации* вещества (например, *трассера*) на выходе из проточного аппарата, l - *координата* длины, w - скорость потока. В отличие от уравнений Эйлера (И-1), где присутствуют проекции векторов скоростей частиц потока и *параметры*, характеризующие физические свойства *сплошной среды*, в уравнении (С-19) переменной *величиной* является концентрация какого-либо вещества, в частности, трассера.

Вихревое течение идеальной жидкости описывается уравнениями И.С.Громеки (1851-1889), выведенными им в 1882 г.:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = P_x - 2(w_z\omega_y + w_y\omega_z) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x} - \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{w^2}{2}\right), \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = P_y - 2(w_x\omega_z + w_z\omega_x) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y} - \dfrac{\partial}{\partial y}\left(\dfrac{w^2}{2}\right), \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = P_z + 2(w_y\omega_x + w_x\omega_y) - \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z} - \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{w^2}{2}\right). \end{cases} \qquad (\text{С-20})$$

Поле скоростей частиц потока вязкой жидкости при ламинарном течении описывается дифференциальными уравнениями Навье-Стокса (Л-1) (по имени франц. учёного Л.Навье (*L.Navier*; 1785-1836) и англ. учёного Дж.Стокса (*G.Stokes*; 1819-1903)):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial x}; \\ \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_y}{\partial z^2}\right) + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial y}; \\ \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau} = -\left(w_x \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \cdot \dfrac{\partial w_z}{\partial z}\right) + \\ \qquad + \nu \cdot \left(\dfrac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \dfrac{\partial^2 w_z}{\partial z^2}\right) + \left(g + \dfrac{1}{\rho} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial z}\right) \end{cases} \qquad \text{(C-21)}$$

и дифференциальным уравнением неразрывности (*сплошности*) потока:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho\left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) = 0, \qquad \text{(C-22)}$$

где ν – кинематический *коэффициент* вязкости и ρ – плотность, так называемые *параметры* уравнений.

Закономерности *турбулентного течения* описываются уравнениями Рейнольдса (Т-1) в напряжениях (по имени англ. учёного О.Рейнольдса (*O.Reynolds*; 1842-1912)), (приведём уравнение только для оси x):

$$\rho\left(\frac{\partial \bar{w}_x^2}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{w}_x \bar{w}_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{w}_x \bar{w}_z)}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \tau}\right) =$$

$$= \rho P_x - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial x} - \rho\overline{(w'_x)^2}\right\} + \qquad \text{(C-23)}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial y} - \rho\overline{w'_x w'_y}\right\} + \frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu \cdot \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial z} - \rho\overline{w'_x w'_z}\right\},$$

где $\mu \cdot \dfrac{\partial \bar{w}_x}{\partial x}$ – *нормальное* напряжение, обусловленное действием сил вязкости вследствие изменения скорости в направлении движения жидкости. *Величины* $\mu\cdot\dfrac{\partial\bar{w}_x}{\partial y}$ и $\mu\cdot\dfrac{\partial\bar{w}_x}{\partial z}$ - касательные напряжения, обусловленные вязкостью. Величины, включающие пульсационные составляющие скорости, - это соответствующие турбулентные напряжения:

$б^{т}_{xx} = -\rho\overline{(w'_x)^2}$ - турбулентное нормальное напряжение;

$б^{т}_{yx} = -\rho\overline{w'_x w'_y}$ и $б^{т}_{zx} = -\rho\overline{w'_x w'_z}$ - турбулентные касательные напряжения.

Выражения для осей y и z подобны.

В уравнениях Рейнольдса (С-23) присутствует важный параметр *сплошной среды - динамическая* вязкость. Следующие уравнения течения *жидкости* в напряжениях {(С-24), (С-25), (С-26)} получены без каких-либо условий *относительно* свойств жидкости, они описывают общие закономерности *механики* сплошной среды и применимы к любым подвижным средам [27]:

$$\begin{cases} \rho\left(w_x\dfrac{\partial w_x}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_x}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_x}{\partial z} + \dfrac{\partial w_x}{\partial \tau}\right) = \rho P_x + \left(\dfrac{\partial б_{xx}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yx}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zx}}{\partial z}\right); & \text{(С-24)} \\ \rho\left(w_x\dfrac{\partial w_y}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_y}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_y}{\partial z} + \dfrac{\partial w_y}{\partial \tau}\right) = \rho P_y + \left(\dfrac{\partial б_{xy}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yy}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zy}}{\partial z}\right); & \text{(С-25)} \\ \rho\left(w_x\dfrac{\partial w_z}{\partial x} + w_y\dfrac{\partial w_z}{\partial y} + w_z\dfrac{\partial w_z}{\partial z} + \dfrac{\partial w_z}{\partial \tau}\right) = \rho P_z + \left(\dfrac{\partial б_{xz}}{\partial x} + \dfrac{\partial б_{yz}}{\partial y} + \dfrac{\partial б_{zz}}{\partial z}\right). & \text{(С-26)} \end{cases}$$

В уравнениях (С-24) - (С-26) единственным параметром является массовая сила (см. *Сплошная среда*), однако в них входят производные касательных и нормальных напряжений, которые невозможно определить *экспериментально*. Поэтому уравнения (С-24) - (С-26) имеют важное, но только теоретическое значение. Естественно, что в литературе описаны и другие модели течения жидкостей.

Пределом турбулентности в проточном аппарате является идеальное перемешивание жидкости (газа) во всём объёме системы от входа до выхода и обратно. Уравнение модели идеального смешения:

$$\frac{dc}{d\tau} = \frac{1}{\bar{\tau}}(C_{вх} - C_{вых}). \qquad \text{(С-27)}$$

Уравнение (С-27) - модель течения жидкости в проточном *аппарате*, в котором входящее вещество мгновенно распределяется по всему объёму аппарата за счёт *стохастического* движения *частиц* (см. также (4.4)). Концентрации веществ и температура на входе в аппарат претерпевают скачок: исходные значения *параметров потока*, мгновенно смешивающегося с содержимым аппарата, соответственно мгновенно изменяются до параметров в объёме аппарата.

Очевидно, что между крайними моделями - моделью идеального смешения (С-27) и моделью идеального вытеснения (С-19) - существует *множество* реальных моделей. Наиболее простыми являются ячеечная модель структуры потоков (4.10), (4.11) и диффузионные модели структуры потоков (4.13) и (4.17).

В ячеечной модели предполагается, что реальный аппарат состоит из целого числа последовательно соединённых ячеек, в каждой из которых наблюдается *режим* идеального смешения. Уравнение ячеечной модели в дифференциальном виде:

$$\frac{dc_i}{d\tau} = \frac{n}{\bar{\tau}} (c_{i-1} - c_i), \qquad \text{(С-28)}$$

где i=1, 2,..., n - номер ячейки, $\bar{\tau}$ - среднее время пребывания жидкости, рассчитанное на весь объём аппарата, n - число ячеек, $dc_i/d\tau$ - скорость изменения концентрации вещества (трассера) на выходе из i-той ячейки. Предполагается, что объёмы всех ячеек одинаковы.

В однопараметрической *диффузионной* модели предполагается наличие в потоке жидкости *частиц*, *вектор скорости* которых в отдельные промежутки *времени* направлен в сторону, противоположную направлению движения основной массы потока, (4.13). *Уравнение* модели:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -w \frac{\partial c}{\partial l} + D_l \frac{\partial^2 c}{\partial l^2}, \qquad \text{(С-29)}$$

где $\partial c/\partial \tau$ - *скорость* изменения *концентрации вещества* (*трассера*) на выходе из проточного *аппарата*, $\partial c/\partial l$ - *градиент* концентрации вещества вдоль оси, l - координата *длины*, w - *средняя* скорость потока, D_l - *коэффициент* продольной *диффузии*, учитывающий в общем случае молекулярную диффузию, *турбулентную диффузию* и неравномерность профиля скоростей (так называемую *тейлоровскую диффузию*).

В диффузионной модели структуры потоков предполагается, что наряду с основным движением жидкости в аппарате от входа к выходу имеются комки жидкости, движущиеся в обратном и поперечном направлениях. Диффузионная модель структуры потоков имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = - w \cdot \frac{\partial c}{\partial l} + D_l \frac{\partial^2 c}{\partial l^2} + D_r \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}, \qquad (C\text{-}30)$$

где c - концентрация какого-либо вещества (трассера), w - скорость потока в аппарате, D_l и D_r - коэффициенты продольной и поперечной (*радиальной*) диффузии соответственно.

Очевидно, что *детерминистические* модели течения жидкостей (С-18), (С-20), {(С-21), (С-22)}, (С-23), (С-24)-(С-26) и другие либо не могут быть решены, либо могут быть решены только в самых простых, идеализированных случаях. В случае реальных аппаратов невозможно предварительно говорить о структуре потоков в аппарате, т.е. невозможно оценить степень поперечного и продольного перемешивания, наличие и объём застойных зон, эффекты проскальзывания, внутреннего байпаса, шероховатость стенок и др. Это объясняется приближённым характером практически всех формул, используемых в проектных и поверочных расчётах. Кроме этого, любой, даже стандартный технологический аппарат в некоторой степени уникален - причина в отклонении профиля и размеров после штамповки, сварки и другой механической обработки от требуемых. Некоторая уникальность технологических аппаратов и невозможность практического определения поля скоростей в них привели О.Левеншпиля к идее замены поля скоростей жидкости в реальном аппарате временем пребывания в нём тех или иных *комков* жидкости [35]. Это достигается мечением частиц потока жидкости на входе в аппарат в момент $\tau=0$ и фиксацией меченых частиц на выходе. Таким путём производится некоторая *формализация* уникальности аппарата, и зависимость концентрации меченых частиц от времени в проточном аппарате описывается уравнениями, (С-19), (С-27), (С-28), (С-29), (С-30) и другими, являющимися, по существу, *детерминированно-стохастическими* моделями структуры потоков в реальных аппаратах. Использование такого подхода позволяет произвести испытание реального аппарата в реальных условиях и с помощью *моментов распределения* частиц потока по времени пребывания в аппарате определить коэффициент продольной диффузии, наличие и долю застойных зон, байпасных и циркуляционных потоков, струйного течения и др. В результате можно построить модель, более или менее адекватную реальному аппарату.

Подробно см., например, [22, 23, 24, 35]. См. также *Величина параметрическая, Модель детерминированно-стохастическая структуры потоков, Модель детерминистическая структуры потоков, Сплошности потока уравнение, Функция отклика.*

Структурная модель - *модель*, отражающая *физическую сущность* объекта, *процесса, явления*. См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Модель, Модель экспериментально-статистическая, Моделирование, Стохастический процесс, Структура.*

Структурность (< *лат.* structura - строение, расположение, порядок. - *И.Х.Дворецкий.* [72]) - возможность описания *системы* через установление её *структуры*, т.е. сети *связей* и *отношений элементов* системы; обусловленность *функционирования* системы не столько свойствами, поведением её отдельных элементов, сколько свойствами её структуры. См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование мысленное, Моделирование физическое, Модель, Модель математическая, ПОНИМАТЬ, Понятие, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Структурная модель, Сущность, Явление.*

В дисперсных системах атомы, ионы, молекулы, макромолекулы, молекулы с полярными группами, волокнистые материалы, твёрдые частицы и т.п., имеющие размер более 1 нм и/или предрасположенность к *формированию* сложных *структур* (объединений множества элементов) с *функциональной* дифференциацией, в результате образуют дисперсионную среду и дисперсную фазу. *Процесс* образования дисперсной фазы называется структурообразованием.

"Человек, не осмеливающийся иметь своё суждение, есть трус, тот, кто не хочет его иметь, - лентяй, а тот, кто иметь его не способен, - дурак." (*Н.Шелгунов*).

Суждение - *форма* мысли, в которой утверждается или отрицается что-либо относительно субъектов, объектов и *явлений*, их свойств, *связей* и *отношений* и которая обладает свойством выражать либо истину, либо ложь. В отличие от *понятия* в предикате суждения может быть как утверждение, так и отрицание относительно признаков, свойств объекта, явления. Кроме этого, в предикате суждения могут быть отображены как несущественные, так и отдельные отличительные и существенные признаки, свойства субъекта, объекта, явления.

См. также *Категория, Обозначать, Определение, ОПРЕДЕЛЯТЬ, Состоять, Термин технический.*

"Сущность - это путь вглубь явления, ведущий к основам мироздания, даже если явление кажется незначительным." (*Виктор Гаврилов*).

Сущность - философская *категория, отражающая* всеобщие *формы* реальности и её познание человеком. Сущность - *совокупность* свойств, определяющих особенность *объекта, явления, процесса* или *класса* объектов, явлений, процессов. От совокупности свойств зависят, кроме всего прочего, их изменчивые *состояния* и формы явлений. Сущность - универсальная объективная характеристика реальности, имеющая определяющее *значение* в процессе познания объекта. Категория "сущность" всегда неразрывно *связана* с категорией "явление" - она раскрывается в явлении, явление представляет собой форму проявления сущности.

В античной философии сущность мыслилась как ***начало*** понимания вещей и вместе с тем как источник их реального генезиса. Согласно Демокриту (Δημοκριτος; 460/470 - 360/370 г. до Р.Х.), сущность вещи неотделима от самой вещи и производна от тех атомов, из которых она составлена. По Платону (Πλατων; 428 или 427 до Р.Х. - 348 или 347 до Р.Х.), сущность ("идея") несводима к телесно-чувственному бытию, т.е. совокупности конкретных явлений; она имеет сверхчувственный нематериальный характер, вечна и *бесконечна*. У Аристотеля (Ἀριστοτελης; 384-322 до Р.Х.) в отличие от Платона сущность ("форма вещей") не существует отдельно, помимо единичных вещей; с другой стороны, сущность, по Аристотелю, не выводится из той "материи", из которой строится вещь. В средневековой философии сущность резко противопоставляется явлению: носителем сущности выступает здесь Бог, а земное существование рассматривается как неистинное, иллюзорное. В философии нового времени противопоставление сущности и явления приобретает гносеологический характер и находит своё выражение в *концепции* первичных и вторичных *качеств*. В мышлении категории "сущность" и "явление" выражают переход от многообразия наличных форм *предмета* к его внутреннему *содержанию* и единству - к *понятию.* Познание сущности *системы* связано с раскрытием *законов* её развития. Постижение сущности объекта, явления, процесса составляет задачу *науки*.

См. также *Форма, Явить, являть, явливать*.

Т

"Большинство теорий - лишь перевод старых мыслей на новую терминологию." (*Григорий Ландау*).

Термин технический, специальный (< *вульг.лат.* terminus technicus) - слово или словосочетание, обозначающее **строго определённое** *понятие*: математическое, техническое, *технологическое*, научное, философское и т.п. Главное качество научного термина - устойчивая однозначность; необходимо чётко различать научное и обыденное значение того или иного термина. Будучи неразрывно *связанным* со словом, термин в большинстве случаев тождественен слову, достаточно часто он одинаков в разных языках. Как правило, источником терминов являются греческий и латинский языки. Например, *Гидродинамика, Детерминизм, Диалектика, ДIАЛЕКТИКА, Дисперсия*, Кибернетика, *Константа, Модель, Момент, Норма, Параметр, Процесс, Система, Статистика, Функция* и др. См. также *Категория, Обозначать, ПОНИМАТЬ, Понятие, Определение, ОПРЕДЕЛЯТЬ, Состоять, Суждение*.

Сравните: **Термин** < *польск.* termin < *лат.* terminus - пограничный камень, межевой знак, границы, *пределы*, конец, конечная цель. **Terminus** - Термин, *римск.* бог границ и межей, в честь которого ежегодно 23 февраля справлялись празднества - Терминалии (Terminalia).

Нет чёткости различения "*Понятие*" и "*Термин*" в названиях арифметических действий: Вычитание, Деление, Делимое, Делитель, Дробь арифметическая, Знаменатель арифметической дроби, Множитель, Показатель, Произведение (мат.), Результат, Сложение, Степень, Сумма, Умножение, Частное, Числитель. С одной стороны, это слова русского языка, а с другой, они используются только для обозначения арифметических действий. См. также *Категория, Комок, Математическое ожидание, Норма, Эмпирический метод*.

Технология (< *греч.* **τεχνη** - искусство, ремесло, наука и ...*логия.* - *А.Д.Вейсман;* р.1834 г. [66]) - *совокупность методов* обработки, изготовления, изменения *состояния,* свойств, *формы природного* сырья, материала или полуфабриката, применяемых в *процессе* производства, для получения готовой продукции; *наука* о способах воздействия на сырьё, материалы и полуфабрикаты соответствующими орудиями производства.

Трассер (< *нем.* Trasse - трасса; trassieren - трассировать, намечать направление (*дороги*), ставить вехи (*на дороге*) [73]) - (*тех.*) вещество, добавляемое в *среду* (*жидкость, газ,* сыпучее тело, твёрдое тело) на входе в *аппарат* для последующей фиксации на выходе *открытой системы* или отслеживания траектории движения.

В технологических *аппаратах,* трубопроводах, в скважине трассеры используются для исследования структуры потоков, а метод исследования структуры потоков в технологических объектах с помощью трассеров относится, в целом, к обширному классу реакций на возмущение. В качестве трассера можно использовать любое однородное, физически и химически инертное по отношению к основной среде вещество (изотопы, красители, кислоты, щёлочи, соли, инертные газы и др.), *концентрацию* которого фиксируют на выходе каким-либо способом.

См. также *Величина параметрическая, Структура потока, Функция отклика.* Подробно см., например, [22, 23, 24, 35].

Турбулентное течение (< *лат.* turbulentus - бурный, бурлящий, беспорядочный.- *И.Х.Дворецкий.* [71]) - течение *жидкости* (*газа*), при котором *частицы потока* (*комки* жидкости, молекулы газа) совершают хаотические, беспорядочные движения по различным траекториям. При турбулентном течении скорость жидкости и её давление в каждой точке потока хаотически пульсируют. В отличие от *ламинарного течения* при турбулентном течении происходит интенсивное перемешивание движущейся жидкости. Турбулентное течение возникает в результате потери устойчивости ламинарного течения. *Физическая* основа перехода течения жидкости от упорядоченного к хаотическому заключается в возникновении различного рода вихрей, их взаимодействию и дроблению на мелкие вихри и беспорядочные струйки.

Внутреннее трение в жидкости - *причина* появления градиента скорости в направлении, перпендикулярном направлению движения потока. *Мерой* жидкостного трения является касательное напряжение. Касательные напряжения в соседних слоях жидкости создают вращающие *моменты*. Если эти моменты одинаковы и направлены в разные стороны, то они уравновешивают друг друга, в противном случае возникает результирующий момент, обусловливающий вращение жидкости, которое приводит к образованию вихря (под вихрем подразумевается комок, группа частиц жидкости, вращающихся вокруг одной мгновенной оси с одинаковой угловой скоростью, т.е. по *отношению* к окружающей жидкости вихрь подобен твёрдому телу - шару, шнуру или тору). Возможность или невозможность образования вихря *определяется* соотношением инерционной силы и силы вязкого трения, критерием Рейнольдса, $Re=wL\rho/\mu$. При малом соотношении инерционных сил и сил жидкостного трения в потоке эти вихри по *величине* соизмеримы с длиной свободного пробега молекул и не приводят к возникновению турбулентных пульсаций. При соотношениях инерционных сил и сил жидкостного трения, превышающих критическое значение критерия Рейнольдса, величина вихрей и интенсивность их движения приводят к тому, что при разных скоростях движения жидкости в соседних слоях в соответствии с уравнением Бернулли давление в слое, движущемся с меньшей скоростью, становится выше, чем давление в слое, движущемся с большей скоростью. Превращение вихрей в турбулентные пульсации, по существу, заключается в том, что направление вращения вихря соответствует его качению вдоль твёрдой поверхности. При этом направление движения потока и вихря на участке окружности, расположенной дальше от стенки, совпадает, а участок жидкости, расположенный ближе к стенке, движется навстречу потоку. Это вызывает уменьшение скорости движения жидкости вблизи стенки. В соответствии с уравнением Бернулли разность давлений по обе стороны вихря приводит к возникновению силы, перпендикулярной направлению движения потока и смещающей вихрь к центру потока. При сближении вихрей, вращающихся в противоположных направлениях, между ними возникают силы притяжения, приводящие к их слиянию. Развитие такого *процесса* приводит к распаду вихрей на всё более мелкие и отдельные струйки, движущиеся в различных направлениях. Упорядоченное струйное движение жидкости переходит в неупорядоченное, турбулентное.

Закономерности турбулентного течения описываются уравнениями Рейнольдса в напряжениях (по имени англ. учёного О. Рейнольдса (*O. Reynolds*; 1842-1912)), (приведём уравнение только для оси x):

$$\rho\left(\frac{\partial\bar{w}_x^2}{\partial x}+\frac{\partial(\bar{w}_x\bar{w}_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\bar{w}_x\bar{w}_z)}{\partial z}+\frac{\partial\bar{w}}{\partial\tau}\right)=$$

$$\rho X-\frac{\partial\bar{p}}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu\cdot\frac{\partial\bar{w}_x}{\partial x}-\rho\overline{(w'_x)^2}\right\}+ \qquad \text{(Т-1)}$$

$$+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\mu\cdot\frac{\partial\bar{w}_x}{\partial y}-\rho\overline{w'_xw'_y}\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\mu\cdot\frac{\partial\bar{w}_x}{\partial z}-\rho\overline{w'_xw'_z}\right\},$$

где $\mu\cdot\dfrac{\partial\bar{w}_x}{\partial x}$ - *нормальное* напряжение, обусловленное действием сил вязкости вследствие изменения скорости в направлении движения жидкости. Величины $\mu\cdot\dfrac{\partial\bar{w}_x}{\partial y}$ и $\mu\cdot\dfrac{\partial\bar{w}_x}{\partial z}$ - касательные напряжения, обусловленные вязкостью. Величины, включающие пульсационные составляющие скорости, - это соответствующие турбулентные напряжения:

$б^{т}_{xx}=-\rho\overline{(w'_x)^2}$ - турбулентное нормальное напряжение;

$б^{т}_{yx}=-\rho\overline{w'_xw'_y}$ и $б^{т}_{zx}=-\rho\overline{w'_xw'_z}$ - турбулентные касательные напряжения.

Выражения для осей *y* и *z* подобны. См. также (С-23).

Количественной *мерой* интенсивности турбулентных пульсаций и степени перемешивания в жидкости с вязкостью μ и плотностью ρ, движущейся по каналу с *определяющим* геометрическим *размером* L со *средней* скоростью w, является критерий Рейнольдса $Re=wL\rho/\mu$, характеризующий соотношение сил инерции и сил вязкого трения. См. также *КОМЪ*, *Ламинарное течение*, *Изоморфизм математический*, *Пограничный слой*. Подробно см., например, [2, 4, 27, 36, 43, 47, 48, 50].

У

Уникальный (< *нем.* unicum - единственный в своём роде экземпляр < *лат.* unicum (*ср.р.*), unicus - единственный в своём роде, исключительный, необыкновенный < unus - один; (один-)единственный; только (один). [72, 77]) - 1. Редкий, единственный в своём роде, исключительный, необыкновенный; редкий образец. 2. Уникум - человек исключительный, необыкновенный в каком-либо отношении.

Условное время - время пребывания *жидкости* (*газа*) в проточном *аппарате* (в нефтегазопроводе, в скважине), вычисляемое при условиях на входе:

$$\vartheta = \frac{V}{\nu_0}, \qquad (У\text{-}1)$$

где ϑ - условное время пребывания, V - *объём системы*, ν_0 - объёмный расход среды при условиях на входе.

В тех случаях, когда в *процессе* движения жидкости её плотность и вязкость изменяется (например, движение промывочной жидкости и "цементного раствора" в скважине, движение воды в трубках калорифера газовой колонки, движение нефти и газа в трубопроводе в холодное время года, движение реакционной массы в трубчатом политропическом или адиабатическом химическом реакторе и т.п.), вычисление действительного времени пребывания является непростой задачей. Условное время пребывания может значительно отличаться от фактического, в таких случаях надёжнее среднее время пребывания определять методом *моментов*, используя метод возмущений.

Ф

"**ФАКТОРЪ** м. латкс. комиссiонеръ, исполнитель частныхъ порученiй; сводчикъ, кулакъ. (...) || въ матемтк. множитель, и вообще членъ, входящий в сложный выводъ. (...) ***Фактъ*** м. происшествiе, случай, событiе; дело, быль, быть; данное, на коемъ можно основаться, пртвпл. *вымыселъ, ложь, сказка.* (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67].

"Мы знаем действие многих причин, но мы не знаем причин многих действий" (*Чарльз Колеб Колтон*, 1780-1832).

Фактор (<*лат.* factor - мастер, создатель, виновник; facto - делать, совершать) - 1. Движущая сила, *причина* какого-либо *процесса, явления.* 2. Существенное обстоятельство в каком-либо процессе, явлении. 3. Независимая переменная *физическая величина* или аргумент. При наличии трёх и более аргументов принято говорить о пространстве независимых переменных, или факторном пространстве.

Физика (< *греч.* φυσις - природа, натура, природное свойство, характер; творение, тварь) - *наука*, изучающая элементарные и вместе с тем наиболее общие закономерности *явлений природы*, свойства и строение материи и *законы* её движения. *Понятия* физики и её законы лежат в основе всего естествознания. Законы физики описывают универсальные *категории* материального мира. Это законы времени и пространства - фундаментальные законы, определяющие поведение материи. Крайне важно отличать в *явлениях* природы простое и универсальное (законы) от сложного и конкретного (закон с наложенными на него *начальными* и *граничными условиям*). Физика - точная наука, изучающая количественные закономерности *процессов* и явлений. С точки зрения *технологии* и *моделирования* технологических процессов особый интерес представляют термодинамика, явления переноса массы, энергии и *импульса*, т.е. процессы массопередачи, теплопередачи и гидродинамика.

См. также *Газ*, *Гидродинамика*, *Жидкость*, *Натура*, *Относительная физическая величина*, *Природа*, *Процесс*, *Структура*, *Физическая величина*.

Форма (*лат.* forma - форма, вид, образ, облик, устройство) - 1. (*мат.*) Многочлен с несколькими *переменными* какого-либо порядка, например, линейная форма, нелинейная форма, форма уравнения парной или иной зависимости, логарифмическая форма и т.п. 2. Устройство, *структура*, *система* организации чего-либо. 3. Наружный вид, внешнее очертание. 4. Шаблон. 5. Видимость чего-либо, формальность. 6. Формой бытия материи, всеобщей и всегда сохраняющейся, на всех структурных уровнях её в соответствии с современной концепцией является время, одномерное, *асимметричное* и необратимое (время не *явление* и не *процесс*). 7. Формой существования, бытия материи в соответствии с современной концепцией является пространство, характеризующее её протяжённость, структурность, порядок взаимодействия *элементов* всех материальных систем. См. также *Среда*.

Формализация - выявление *структуры* (*сущности*) *явления*, *процесса*, *формы* мысли и символическое обозначение её. С другой стороны, формализация - это один из путей изучения и математического описания процессов, при котором исследователь, частично отвлекаясь от физической сущности процесса (явления), выражает содержание объекта в виде относительно жёсткой *функциональной* зависимости выхода от входа (независимых *переменных* или *факторов*). Под формализацией понимается также представление объекта, процесса, явления в виде формул, уравнений, *систем* уравнений с соответствующими *параметрами*.

См. также *Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование физическое, Модель, Модель детерминированно-стохастическая, Модель математическая, Модель экспериментально-статистическая, Формальный.*

Функционирование - выполнение своих *функций*, действие, выполнение операций, процедур, присущих кому-либо или чему-либо.

Функция (<*лат.* functio - исполнение, совершение, служебная обязанность, функция)) - *явление*, зависящее от другого и изменяющееся по *мере* изменения этого другого явления.

1. (*мат.*) Функция - одно из основных *понятий* математики, выражающее зависимость одних *переменных величин* от других. Слово "величина" в этом *определении* функции понимается в самом широком смысле: именованное число, отвлечённое число (действительное или комплексное), несколько чисел (т.е. точка пространства) и вообще *элемент* любого *множества*. В простейшем случае действительной функцией одной действительной переменной величины, когда величина - действительное число, понятие функции определяется следующим образом. Пусть каждому числу x из заданного множества X поставлено в соответствие число y, *обозначаемое* $y=f(x)$; в этом случае говорят, что на множестве X задана функция:

$$y=f(x),\ x\in X, \qquad (\Phi\text{-}1)$$

где x - независимая переменная величина, или аргумент, или *фактор*; y - зависимая переменная величина, или функция; X - множество значений, которые может принимать x. Другими словами, X - область определения, или область задания функции. Выражение "поставлено в соответствие" означает, что указан определённый способ, по которому для каждого $x\in X$ находится $y=f(x)$. Функция может быть задана различными способами: аналитически, графически, таблично и в словесной *форме*.

Аналитический способ наиболее распространён, при этом функция задаётся формулой, указывающей, какие вычислительные операции необходимо произвести над x, чтобы получить y. Например, $y=3+\ln x$; $y=3+4x+5x^2+6x^3$.

При табличном способе задания функция задаётся в виде таблицы, в которой каждому значению аргумента указывается соответствующее ему значение функции. Такой способ задания функции является результатом подавляющего большинства *экспериментальных* исследований, и именно таблично заданная функция используется для *статистического анализа* данных, восстановления зависимости и проверки статистических гипотез об исследуемом *процессе*. Широко распространена и обратная процедура, когда аналитическая функция табулируется, т.е. представляется в виде таблиц: таблиц логарифмов, тригонометрических функций, а такие функции, как *распределения* Стьюдента, Фишера и другие практически используются только в виде таблиц.

Графический способ необходим исследователю для визуального представления и первичного анализа экспериментально полученной зависимости. Графиком функции $y=f(x)$ называется множество точек плоскости с прямоугольными *координатами* $(x,\ y)$, где $x \in X$. Однако функция, заданная графически, недостаточно определена с чисто математической точки зрения, и её табличное представление используется в качестве задачи восстановления зависимости.

Действительная функция нескольких действительных переменных широко используется при *математическом моделировании* технологических процессов. В случае множества аргументов (*факторов*) принято говорить о расчётном значении функции $y_{расч}$ (аналитической функции) и факторном пространстве $y=f(x_1, x_2,\ \ldots,\ x_k)$, где k - количество независимых переменных (факторов) или размерность факторного пространства. При статистическом моделировании размерность факторного пространства не ограничена, а при построении детерминистических *моделей* обычно ограничиваются четырьмя факторами - три координаты нашего трёхмерного мира и время (например, процесс нестационарного теплообмена, массообмена и др.).

Впервые *термин* "функция" использовал Г.Лейбниц (*Leibniz Gottfried Wilhelm*; 1646-1716) в рукописи 1673 г., оставшейся неизданной, под названием "Обратный *метод* касательных или [рассуждения] по поводу функций" по поводу задачи, в которой требовалось определить координаты, исходя из заданного свойства касательных к кривой. Г.Лейбниц называл функцией любую линию (длина которой зависит от положения некоторой точки на данной кривой), которая в общепринятом смысле слова выполняет свою функцию в фигуре, иначе говоря, играет роль касательной, *нормали*, подкасательной и так далее и которая таким образом "функционирует". Подобное соглашение о смысле слова "функция" было принято и в некоторых других его статьях, опубликованных в 1692 и 1694 гг., и в том же смысле это слово появилось в 1697 г. в работе Иоганна Бернулли (*Johann Bernoulli*; 1667-1748).

2. (*биол.*) Специфическая деятельность животного или растительного организма, его органов, тканей и клеток.

3. (*лингв.*) Значение какой-либо языковой формы, её роль в *системе* языка, определяемая *соотношением* с другими формами.

4. (*соц.*) Обязанности, круг деятельности, назначение, роль.

Функция отклика - реакция *открытой системы* на возмущение. *Метод* возмущений - один из методов научного познания *природы, технологических*, физиологических и социальных *процессов*. Он является естественным приёмом испытания открытых систем с целью распознавания неизвестных реакций системы в природе, обществе и мышлении. Метод возмущений широко применяется в технике, технологии, биологии, медицине, социологии и научных исследованиях. В то же время метод возмущений является универсальным методом исследования *динамических* характеристик открытых систем, внутреннее устройство которых неизвестно, либо устройство системы известно, но неизвестно *функционирование* системы. В общем случае, открытыми системами являются все живые организмы, популяции (сообщества людей, животных, птиц, рыб, насекомых и т.д.), природные и технологические системы с непрерывно протекающими процессами переноса количества движения, вещества и энергии.

Сущность метода возмущений заключается в том, что на входе в систему в *момент* времени $\tau=0$ наносится возмущающий сигнал. По *форме* сигналы могут быть *импульсными*, ступенчатыми и гармоническими, а по содержанию - информационными или *физическими*. После нанесения возмущения на выходе снимается функция отклика системы на произведённое возмущение, анализ которой и позволяет определить те или иные *параметры функционирования* системы.

Результаты испытаний системы методом возмущений обычно представляют в виде таблиц или $p(x)$- и $F(x)$-кривых, причём содержимое таблиц можно рассматривать как некоторую *выборку случайных величин* из *совокупности*. Характерные особенности случайных величин принято выражать с помощью числовых характеристик, называемых *моментами* случайной величины, которые полностью характеризуют само *распределение*. Моментами распределения можно пользоваться для анализа и сопоставления распределений без сравнения соответствующих кривых.

В технологических процессах для определения *структуры потоков* (*коэффициента* продольного перемешивания, наличия и объёма застойных зон, байпасных потоков и т.п.) обычно применяют импульсные и ступенчатые сигналы. В качестве сигналов используются *трассеры* различной *природы*. Испытание заключается в том, что в поток вещества, поступающего в систему, в момент времени $\tau=0$ вносится некоторое количество трассера, концентрация которого определяется в пробах на выходе.

Под *формализацией* структуры потоков в аппарате подразумевается вычисление *моментов распределения частиц потока* по времени пребывания в аппарате. Моменты распределения, в свою очередь, позволяют вычислить некоторые параметры, численно характеризующие наличие и долю застойных зон в общем объёме аппарата, степень отклонения режима движения *жидкости* от режима идеального вытеснения (смешения) и интенсивность продольного перемешивания.

См. также *Величина параметрическая, Динамический процесс, Стационарный процесс, Структура потока*. Подробно см., например, [22, 23, 24, 35].

Функция распределения случайной величины, кумулятивная *функция* - функция $F(x)$, характеризующая *вероятность* того, что случайное значение величины X не превысит x. Функция распределения ограничена нулём и единицей (см. рис.6, 7, 8, 9, 10а, 13, 17б, 18б, 24б, 31).

Ц

"Вселенная есть целиком центр. Центр вселенной повсюду и во всём" (*Джордано Филиппо Бруно*; 1548-1600).

Центр (< *нем.* zentrum < *лат.* centrum < *греч.* κέντρον - остриё циркуля. - *М. Фасмер*; 1886-1962. [84]). **"ЦЕНТРЪ** м. латн. средоточіе, остіе, осенъ, остенъ. (...) ***Центральный***, срединный, средоточный, остенный. (...) ***Цетробежная*** *сила, движенье*, вернее ***центроотбежная***, средоотбойная, удаляющая тело отъ средоточія, средоотбежная, пртвп. средоприбежная. ***-стремительная, -влечная***, приближающая ко средоточію. (...) ***Централизація***, сосредоточенье." (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67].

Ч

Частица (в гидродинамике) - *часть жидкой фазы* (*комок*, по *определению* В.Б.Когана [27]), которую в данный *момент* времени и в данной точке пространства можно рассматривать как единое целое. По существу, под это определение попадают и смеси *газовой*, жидкой, твёрдой фаз в различных комбинациях. Частица - *понятие относительное*, и её содержание зависит от масштаба рассматриваемой *системы*; главное - частица включает в себя *множество структурных элементов*. Так, для метеоролога циклон в сравнении с атмосферой всей земли будет частицей, для астрофизика солнечный протуберанец с массой несколько десятков мегатонн будет частицей. В случае технологических *аппаратов* и трубопроводов размер частицы колеблется от нескольких десятых долей миллиметра до миллиметров. Не следует путать с *физическими* частицами, представляющими собой определённые структурные элементы, например, элементарные частицы. В этой связи "комок" жидкости является более удачным понятием, чем частица. Дело в том, что частица жидкости может находиться в трёх *агрегатных состояниях* и в различных *формах*. Например, вода может быть собственно водой, каплей, *потоком*, струёй, вихрем, сосулькой, снежинкой, градом, облаком и т.д. См. также *Комок*, *КОМЪ*, *Путь смешения*, *Турбулентное течение*.

Частота *случайного события* - *отношение* числа n_i наступлений i-того события в данной последовательности испытаний к общему числу n испытаний, - $h_i=n_i/n$. Очевидно, что $0<h_i<1$. В ситуации, к которой по соображениям симметрии принято "классическое" определение *вероятности*, частота n_i/n i-того события совпадает с вероятностью p_i. В ином случае, если испытания независимы и априори постулируется существование определённой вероятности p_i наступления i-того события, то при любом сколь угодно малом числе $\varepsilon>0$ и больших n практически достоверно, что частота h_i удовлетворяет неравенству $|n_i/n-p_i|<\varepsilon$. Эта близость n_i/n к p_i позволяет при решении задачи оценивания неизвестной вероятности p_i по результатам *наблюдения* в *математической статистике* принимать частоту в качестве приближённого значения или, как принято говорить, статистической *оценки* вероятности. Важно отметить, что в отличие от вероятности частота события является **случайной величиной**, так как она зависит от результатов n экспериментов. См. также *Вероятностей теория*, *Вероятность математическая*.

Ш

"**ШУМЪ** м. всякіе нестройные звуки, голоса, поражающіе слухъ; громкіе голоса, крикъ; стукъ, гулъ, зыкъ, ревъ, громкій шорохъ, все, что нескладно раздается въ ушахъ. (...) *Шумъ ветра, бури, дождя.* (...) *Шумъ водопада. Шумъ листьевъ подъ ногами не даетъ подходу къ дичи. Шумъ въ ушахъ*, гулъ, звонъ, какъ внутренее ощущенье. (...) *Въ голове шумитъ*, или *зашумело*, хмель разбираетъ. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [67]. См. также *Шум*.

Шум - название различных помех, искажающих результаты измерений в *процессе* исследований, испытаний, *экспериментов*, а также помехи, искажающие полезный сигнал в процессе передачи информации по каналу *связи*. См. также *Нормальное распределение, Ошибок теория, ШУМЪ*.

Э

"Экспериментатор, чтобы быть достойным этого имени, должен быть одновременно и теоретиком, и практиком" (*Клод Бернар*; 1813-1878).

Эксперимент (<*лат.* experimentum - проба, законченный опыт, практика, основанное на опытах доказательство) - 1. Научно поставленный лабораторный или промышленный опыт, *наблюдение* исследуемого *процесса* в фиксируемых условиях; возможность многократного воспроизводства процесса в требуемых или повторяющихся условиях. 2. Опыт вообще, попытка осуществить чего-либо. Нередко главной задачей эксперимента является проверка гипотез и предсказаний теории, имеющих принципиальное значение. В этом случае эксперимент выполняет *функцию критерия* истинности научного познания в целом.

Экспериментальный *метод* исследования возник в естествознании нового *времени* (Уильям Гильберт, Галилео Галилей (*Galilei Galilio*; 1564-1642)). Первую *классификацию* эксперимента разработал Фрэнсис Бэкон, барон Веруламский (1561-1626). Основы *статистического* метода *анализа* наблюдений были заложены К.Гауссом (*Gauss Carl Friedrich*; 1777-1855) - в 1794-95 г.г. он открыл и в 1821-23 г.г. разработал основной *математический* метод *обработки* неравноценных наблюдательных *данных* (метод наименьших *квадратов*).

Рассмотрим подробнее современное понимание эксперимента и его результатов. Лабораторный или промышленный эксперимент - это строгая последовательность заранее обусловленных действий, ведущих к *определению* одной или *множества величин*, представляющих результаты эксперимента. Независимо от точности соблюдения условий проведения эксперимента результаты повторных экспериментов, в общем случае, будут различны. *Причинами* отсутствия абсолютной воспроизводимости следует считать ограниченную точность определений, измерений, анализов и т.п., а иногда и внутреннюю *природу* исследуемого *явления*. Следовательно, для каждой величины возможные результаты будут лежать в некоторой ограниченной области. Множество этих областей для всех величин, составляющих результат эксперимента, образует *выборочное* пространство этого эксперимента. Например, при поиске функциональной *связи* $y=f(x)$ говорят о корреляционном поле $y-x$, а конкретные численные значения y называют *случайными величинами*. Результаты экспериментов обрабатывают, как правило, *статистическими методами*.

См. также *Детерминизм, Детерминированный процесс, Детерминистичность математической модели, Моделирование, Моделирование математическое, Моделирование мысленное, Моделирование физическое, Модель, Модель математическая, Модель экспериментально-статистическая, Мысленная модель, Мысленный эксперимент, Причина, Причинность, ПРИЧИНЯТЬ, Связь, Следствие, Стохастический процесс, Структурная модель, Структурность, Сущность, Явление.*

Экспериментально-статистический метод - см. *Модель экспериментально-статистическая.*

Эксцесса коэффициент, эксцесс (< *лат.* excessus - уход, выход, уклонение, отступление) - скалярная характеристика островершинности графика *плотности вероятности* унимодального *распределения*, которую используют в качестве некоторой *меры* отклонения рассматриваемого распределения от *нормального*. *Коэффициент* эксцесса E_x определяется по формуле:

$$E_x = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2} - 3 \qquad (Э\text{-}1)$$

где μ_2 и μ_4 - центральные *моменты выборочного* распределения второго и четвёртого порядка соответственно. Для *нормального распределения* коэффициент эксцесса $E_x=0$; случай $E_x>0$ соответствует, как правило, тому, что график плотности рассматриваемого распределения в окрестности моды имеет более острую и более высокую вершину, чем нормальная кривая. Случай $E_x<0$ соответствует отрицательному эксцессу, при этом плотность вероятности имеет в окрестности моды более низкую и плоскую вершину, чем плотность нормального закона (см. рис.15). В уравнении (Э-1) число 3 вычитается потому, что для распределения К.Гаусса отношение $\mu_4/(\mu_2)^2=3$, следовательно для нормального распределения $E_x=0$. Поэтому, если выборочный коэффициент эксцесса существенно отличается от нуля, следует признать, что распределение случайной величины исследуемого распределения отлично от нормального.

Элементы *системы* (< *лат.* elementum - первичная материя, первоначало, возникновение; семантич. *греч.* **στοιχειον** - первая и самая простая часть чего-либо, основание, начало, **элемент**) - составные части сложного целого. Элементы системы отличаются двумя особенностями - они находятся во взаимодействии друг с другом и с внешним миром.

Эмпиризм (< *греч.* εμπειρια - опытность, опыт, знание, приобретённое опытом) - философское учение, признающее чувственный *опыт* единственным источником наших представлений, *идей*, *понятий*, знаний.

Эмпирическая функция распределения (< *греч.* εμπειρια - опытность, опыт, знание приобретённое опытом) - см. *Распределение, Эмпирическое распределение*.

Эмпирический метод построения математических моделей - см. *Модель экспериментально-статистическая*.

В описываемом контексте и с точки зрения этимологического происхождения, **эмпирика** (< *греч.* εμπειρια - опытность, опыт, знание, приобретённое опытом) - значительно более древний *термин*, чем *структура* (< *лат.* structura - строение, расположение, порядок) и, по своей *сущности*, он берёт на себя смелость отражать объективную реальность. Но исторически получилось так, что когда в пятидесятые годы прошлого столетия стала развиваться кибернетика, стали интенсивно развиваться численные *методы*, в частности, методы построения регрессионных моделей, подход этот стали называть методом "чёрного ящика". Позднее это *понятие* частично вытеснился терминами "эмпирический" и "*экспериментально-статистический метод*".

Эмпирическое распределение, *выборочное распределение* (< *греч.* εμπειρια - опытность, опыт, знание, приобретённое опытом) - *распределение вероятностей*, которое определяется по *выборке* для *оценки истинного* распределения.

Пусть результаты *наблюдений* X_1, $X_2, \ldots,$ X_n объёма n - взаимно независимые и одинаково распределённые случайные величины с *функцией распределения* $F(x)$ и пусть $X_1<X_2<\ldots<X_n$ - соответствующий вариационный ряд. При этом каждому значению X_i соответствует вероятность наблюдения $1/n$, а если какие-либо r из X_i совпадают между собой, то их общему значению приписывается вероятность r/n (при большом числе наблюдений n эмпирическое распределение задаётся с помощью частот $h_j=n_j/n$, $j=1, 2, \ldots, k$, где k - число групп, на которые разбивается вся совокупность наблюдений X_i, а n_j - число значений X_i в j-й группе). Эмпирическим распределением, соответствующим случайной выборке X_1, $X_2, \ldots,$ X_n, называется дискретное распределение, приписывающее каждому значению X_i вероятность $1/n$. Функция эмпирического распределения $F_n(x)$, называемая эмпирической функцией распределения, является ступенчатой функцией со скачками, кратными $1/n$, в точках, определяемых величинами X_1, $X_2, \ldots,$ X_n, если все они различны:

$$F_n(x)=\begin{cases} 0, & x<X_1 \\ \nu(X_1, X_2, \ldots, X_n:x)/n, & X_i<x<X_{i+1},\ 1<i<n-1, \\ 1, & x>X_n \end{cases} \qquad (Э\text{-}2)$$

где $\nu(X_1, X_2, \ldots, X_n:x)$ - число X_i меньших x. При каждом фиксированном действительном значении x эмпирическая функция распределения $F_n(x)$ является случайной величиной. Если случайные величины X_1, $X_2, \ldots,$ X_n принимают значения x_1, $x_2, \ldots,$ x_n, то $F_n(x)$ как функция x обладает всеми свойствами обычной функции распределения. Таким образом, эмпирическое распределение, соответствующее выборке X_1, $X_2, \ldots,$ X_n, задаётся семейством случайных величин $F_n(x)$, зависящих от действительного значения x. При этом для фиксированного x

$$\mathrm{E}F_n(x)=F(x); \quad \mathrm{D}F_n(x)=\frac{1}{n}F(x)[1-F(x)];$$
$$\mathrm{P}\left\{F_n(x)=\frac{i}{n}\right\} = C^i{}_n[F(x)^i F(x)]^{n-i}. \qquad (Э\text{-}3)$$

В соответствии с *законом* больших чисел $F_n(x)\to F(x)$, $n\to\infty$, при каждом x. Это означает, что $F_n(x)$ - *несмещённая* и *состоятельная* оценка функции распределения $F(x)$. Эмпирическое распределение является основой для вычисления *выборочных* или *эмпирических моментов* -

начальных:

$$m_\beta = \sum_{i=1}^{n} x_i^\beta p_i \tag{Э-4}$$

и центральных

$$\mu_\beta = \sum_{i=1}^{n} (x_i - m_1)^\beta \cdot p_i. \tag{Э-5}$$

Например, выборочное *среднее*:

$$\bar{x} = m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{Э-6}$$

выборочная *дисперсия* (смещённая оценка генеральной дисперсии $б^2{}_x$):

$$DX = \mu_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2, \tag{Э-7}$$

выборочная дисперсия (*несмещённая* оценка генеральной дисперсии $б^2{}_x$):

$$s^2{}_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2. \tag{Э-8}$$

Выборочные моменты являются статистическими оценками соответствующих характеристик исходного распределения. Кроме этого, поскольку выборочные моменты полностью характеризуют распределение, они могут быть использованы для сравнения разных эмпирических распределений без сравнения соответствующих кривых. См. также *Распределять*.

Эффективность оценки - свойство *оценки* иметь больший или меньший доверительный *интервал*. Оценка *параметра* называется эффективной, если среди нескольких оценок того же параметра она обладает наименьшей *дисперсией*.

Я

"***Явить***, **являть**, ***являвать*** что, казать, оказывать, показывать, делать явнымъ, виднымъ, ставить на видъ; изъявлять, проявлять, выявлять; предъявлять, представлять. (...) **Являться**, быть явлену; || появляться, проявляться, оказываться, открываться, обнаруживаться как-бы собою; || представляться, по службе, начальнику. (...) || **Явленье** ср. действiе и состоянье по гл. *явить*, -ся. (...) || *Явление природы*, всякая внезапная, нежданная, необычайная перемена, случай, оказательство, событіе, и вообще, всякая видимая перемена. (...)" (*В.И.Даль*; 1801-1872) [68].

"Действительность заключена в явлениях"
(*Демокрит*; 460/470-360/370 г. до Р.Х.).

Явление - философская *категория*, отражающая всеобщие *формы* реальности и её познание человеком. От *совокупности* свойств, *определяющих* особенность объекта, явления, *процесса* или класса объектов, явлений, процессов, зависят, кроме всего прочего, их изменчивые *состояния* и формы явлений. Явление - то или иное обнаружение (выражение) объекта, внешней формы его существования. Явление - универсальная объективная характеристика предметного мира; в процессе познания *сущность* и явление выступают как ступени постижения объекта. Категории "сущность" и "явление" всегда неразрывно *связаны*: явление представляет собой форму проявления сущности, последняя раскрывается в явлении. Явление богаче сущности, ибо оно включает в себя не только обнаружение внутреннего содержания объекта, взаимодействия *элементов системы* между собой и с внешним миром, но и всевозможные *случайные отношения*, стохастическое взаимодействие элементов системы между собой и внешним миром. Явления динамичны, изменчивы, случайны, в то время как сущность образует нечто, *диалектически* сохраняющееся во всех изменениях. См. также *Субстанция*, *Явить, являть, являвать*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ахназарова С.Л., Кафаров В.В.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1985. - 327 с.
2. *Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д.* Нефтегазовая гидромеханика: Учебное пособие для вузов. - М.- Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. - 544 с.
3. *Бендат Дж., Пирсол А.* Измерение и анализ случайных процессов/Пер. с англ. Г.В. Матушевского и В.Е. Привальского. М.: Мир, 1974. - 464 с.
4. *Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е.* Явления переноса. Пер. с англ. - М., Химия, 1974. - 688 с.
5. *Бернулли Я.* О законе больших чисел. Пер. с лат. Я.В. Успенского. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 176 с.
6. *Бочаров П.П., Печинкин А.В.* Теория вероятностей. Математическая статистика. - М.: Гардарика, 1998. - 328 с.
7. *Брандт З.* Статистические методы анализа наблюдений. Пер. с англ. Г.А. Погребинского, под ред. В.Ф. Писаренко. - М.: Мир, 1975. - 312 с.
8. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. - М.: Недра, 1990.
9. Бурбаки Н. Теория множеств. - Пер. с франц. - М., 1965.
10. *Ганджумян Р.А.* Математическая статистика в разведочном бурении: Справочное пособие. - М.: Недра, 1990. - 218 с.
11. *Гумилёв Л.Н.* Этногенез и биосфера Земли. 3-е изд., стереотипное. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 528 с.
12. *Даан-Дальмедико А., Пейффер Ж.* Пути и лабиринты, очерки по истории математики. Пер. с фр. - М.: Мир, 1986.
13. Дементьев Л.Ф., Шурубор Ю.В. Зачем геологу-нефтянику математика и компьютеры. - М.: Недра, 1991. - 127 с.: илл.
14. *Дегтярёв В.Н.* Перекачка высоковязких и застывающих нефтей. - Самара: ВК-Транс, 2006. - 144 с., с илл.
15. *Депман И.Я.* История арифметики. Изд. 2-е. - М.: 1965.
16. Джини К. Средние величины. - М.: Статистика, 1970.
17. *Дэвис Дж.С.* Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ., в 2 кн./Пер. В.А. Голубевой, под ред. Д.А. Родионова. - М.: Недра, 1990. - 427 с., с илл.
18. *Есьман Б.И., Габузов Г.Г.* Термогидравлические процессы при бурении скважин. - М.: Недра, 1991. - 216 с., с илл.
19. *Закгейм А.Ю.* Введение в моделирование химико-технологических процессов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1982. - 288 с.
20. *Каждан А.В., Гуськов О.И.* Математические методы в геологии: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1990. - 251 с., с илл.
21. *Кафаров В.В.* Методы кибернетики в химической технологии. 3-е изд., перераб. и доп. М., Химия, 1976.
22. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* **Математическое моделирование основных процессов химических производств**: Учеб. пособие для вузов.- М.: Высш. шк., 1991. - 400 с., с илл.

23. *Кафаров В.В., Дорохов И.Н.* **Системный анализ процессов химической технологии.** Основы стратегии. - М.: Наука, 1976. - 500 с.
24. *Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Липатов Л.Н.* **Системный анализ процессов химической технологии.** Статистические методы идентификации процессов химической технологии. - М.: Наука, 1982. - 345 с.
25. *Кендалл М.Дж., Стьюарт А.* Теория распределений. - Пер с англ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966. - 588 с., с илл.
26. *Кендалл М.Дж., Стьюарт А.* Статистические выводы и связи. Пер. с англ. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. - 900 с., с илл.
27. *Коган В.Б.* Теоретические основы типовых процессов химической технологии. - Л.: Химия, 1977. - 592 с.
28. *Козловский Е.А., Питерский В.М., Комаров М.А.* Кибернетика в бурении. - М.: Недра, 1982.
29. *Колемаев В.А., Калинина В.Н.* Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник/Под ред. Колемаева В.А. - М.: ИНФРА-М, 1997. - 302 с. (Серия "Высшее образование").
30. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. Пер. с амер./Под общей ред. *И.Г. Арамановича.* Перераб. - М.: Наука, 1974. - 832 с.
31. *Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф.* Справочник по теории вероятностей и математической статистике. - Киев: Наукова думка, 1978. - 584 с.
32. *Крамбейн У., Грейбилл Ф.* Статистические модели в геологии. Пер. с англ. Д.А. Родионова. Под ред. Ю.В. Прохорова. - М.: Мир, 1969. - 398 с., с илл.
33. *Крамер Г.* Математические методы статистики. - Пер. с англ., изд. 2-е. - М.: Мир, 1975. - 648 с., с илл.
34. *Кудрин В.* Универсальный коррелятор. Ж. "Знание-сила" №5, 2006 г., с. 102.
35. *Левеншпиль О.* Инженерное оформление химических процессов. - М.: Химия, 1969. - 624 с.
36. *Леонов Е.Г., Исаев В.И.* Гидроаэромеханика в бурении: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1987. - 304 с., с илл.
37. **Математическая энциклопедия**/Гл. ред. *И.М. Виноградов.* Ред. кол. *С.И. Адян, П.С. Александров, Н.С. Бахвалов, В.И. Битюцков* и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1977.
38. **Математический энциклопедический словарь**/Гл. ред. *Ю.В. Прохоров.* Ред. кол. *С.И. Адян, Н.С. Бахвалов, В.И. Битюцков* и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1988.
39. *Ортоли С., Витковски Н.* Ванна Архимеда. Краткая мифология науки/Пер. с франц. Д.Баюка. - М.: КоЛибри, 2007. - 240 с.
40. *Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов/Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. - 9-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1981. - 560 с., с илл.
41. *Пасхавер И.С.* Средние величины в статистике. М.: Статистика, 1979.
42. **Политехнический словарь**/Гл. ред. акад. *А.Ю. Ишлинский.* - П 50 2-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1980. - 656 с. с илл.
43. *Протодьяконов И.О., Марцулевич Н.А., Марков А.В.* Явления переноса в процессах химической технологии. - Л.: Химия, 1981. - 264 с., с илл.
44. *Рабинович Н.Р.* Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. - М.: Недра, 1989. - 270 с.
45. *Рейхман Дж.* Применение статистики. - М.: Статистика, 1969.
46. *Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей: Справочной пособие

/Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1982. - 592 с., с илл. - Нью-Йорк, 1977.
47. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных вузов: Учебн. пособие для вузов/Под ред. *Г.Д. Розенберга*. - М.: Недра, 1990. - 238 с.
48. *Слеттери Дж.С.* Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах: Пер. с англ. Колпащикова В.Л. и Кортневой Т.С. - М.: Энергия, 1978. - 448 с., с илл.
49. *Слинько М.Г.* Моделирование химических реакторов. Новосибирск: Наука, 1968. - 95 с.
50. *Стенли Г.* Фазовые переходы и критические явления. Пер. с англ. - М.: 1973.
51. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и её приложения. В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 528 с., с илл.
52. **Физический энциклопедический словарь**/Гл. ред. *А.М. Прохоров*. Ред. кол. *Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов* и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1984.
53. **Химический энциклопедическтий словарь**/Гл. ред. *И.Л. Кнунянц*. - М.: Сов. энциклопедия, 1983, - 792 с.
54. *Чистяков В.П.* Курс теории вероятностей. - М.: Наука, 1978.
55. *Юрьев Н.Б.* Основы повышения качества цементобетонов. Учебное пособие. - М.: МАДИ, 1988.
56. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. Изд. 2-е, испр. - М.: Наука, 1964. - 848 с., с илл.
57. *Ягодинский В.Н.* Ритм, ритм, ритм! Этюды хронобиологии. - М.: Знание, 1985. - 192 с., с илл.

Лексикографические источники

58. *Александрова З.Е.* **Словарь синонимов русского языка**. Ок. 9000 синонимических рядов. Под ред. Л.А. Чешко. Изд. 3-е, стереотип. - М.: Сов. энциклопедия, 1971.
59. *Андреева Н.Н., Арапова Н.С.* и др. **Словарь иностранных слов: актуальная лексика, толкования, этимология**. - М.: Цитадель, 1997. - 320 с.
60. **Антология мудрости**. Составитель *В.Ю. Шойхер*. - М.: "Издательский дом "Вече", 2005.
61. **Англо-русский словарь**/*В.К. Мюллер*. - Изд. 16-е, стереотипное. - М.: Советская энциклопедия, 1971. - 912 с.
62. **Англо-русский политехнический словарь**. 80 000 терминов. Под ред. *А.Е. Чернухина*. Изд. 3-е. - М., Русский язык, 1976. - 648.
63. **БОЛЬШАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ.** Словарь общедоступных сведений по всем отраслям знания. Под редакцией *С.Н. Южакова*. Третье издание со стереотипа. Санкт-Петербург. Книгоиздательское т-во "Просвещение". 1903 г.
64. **Большой англо-русский словарь**/В двух томах. Под общ. руковод. *И.Р. Гальперина*. - М.: Советская энциклопедия, 1972.
65. *Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А.* **Энциклопедический словарь.** Современная версия. - М.: Изд-во Эксмо. 2003. - 672 с.
66. *Ганшина К.А.* **Французско-русский словарь.** 8-е изд., стереотип. - М.: Русский язык, 1979. - 912 с.
67. **Греческо-русский словарь**/*А.Д.Вейсман*. - Изд. 5-е. - С.-Петербург, 1899. - 1370 с.
68. *Даль Владимир.* **Толковый словарь живого великорусского языка**. Воспроизведение второго издания 1880-1882 гг. - М.: Русский язык, 1978.

69. *Даль Владимир.* **Толковый словарь живого великорусского языка**. Репринтное воспроизведение издания 1903-1909 гг., осуществлённого под редакцией профессора И.А. Бодуэна де Куртенэ. - М.: ТЕРРА, 2000. В 4 т.
70. *Кедринский В.В.* **Англо-русский словарь по химии и переработке нефти.** - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Русский язык, 1975. - 769 с.
71. *Кротов В.* **Словарь парадоксальных определений.** - М.: КРОН-ПРЕСС, 1995. - 480 с.
72. **Латинско-русский словарь**/*И.Х. Дворецкий.* - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Русский язык, 1976. - 1096 с.
73. **Логический словарь**/*Н.И. Кондаков.* - М.: Наука, 1971. - 656 с.
74. **Немецко-русский словарь.** 80 000 слов. Под ред. *А.А. Лепинга* и *Н.П. Страховой.* Изд. 7-е стереотипное. - М.: Русский язык, 1976.
75. *Ожегов С.И.* **Словарь русского языка**: Ок. 57 000 слов/Под ред. чл.-корр. АН СССР *Н.Ю. Шведовой.* - 19-е изд., испр. - М.: Русский язык, 1987.
76. **Орфографический словарь русского языка**/Под ред. *С.Г. Бархударова, С.И. Ожегова* и *А.В. Шапиро.* Около 104 000 слов. Изд. 9-е. - М.: Сов. энциклопедия, 1969.
77. **Словарь иностранных слов**: актуальная лексика, толкования, этимология./ *Н.Н. Андреева, Н.С. Арапова* и др. - М.: Цитадель, 1997. - 320 с.
78. **Словарь иностранных слов и выражений**/Авт.-сост. *Н.В. Трус, Т.Г. Шубина.* - М.: Современ. литератор, 1999. - 576 с. - Энциклопедический справочник.
79. **Современный словарь иностранных слов**. - СПб.: Дуэт, 1994. - 752 с.
80. *Таранов П.С.* **Анатомия мудрости.** Философия изнутри. В 2-х т. - М.: Изд-во "Остожье", 1996.
81. *Таранов П.С.* **Эмоции ума.** Книга всемирных рекордов интеллекта. Мысли микро-эссе, афоризмы. В 2-х т.- Симферополь: "Реноме", 1997. - 464 с.
82. **Терра-Лексикон**: Иллюстрированный энциклопедический словарь. - М.: Терра, 1998. - 672 с., с илл.
83. Толковый словарь русского языка с включением сведений о происхождении слов/РАН. Институт русского языка им. В.В. Виноградова. Отв. ред. Н.Ю. Шведова. - М.: Издательский центр "Азбуковник", 2007. - 1175 с.
84. **Трудности словоупотребления и варианты норм русского литературного языка**/Словарь-справочник. Ред. *К.С. Горбачевич.* - Л.: Наука, ленинградское отделение, 1971. - 520 с.
85. *Фасмер М.* **Этимологический словарь русского языка**/Пер. с нем. и доп. *О.Н. Трубачёва.* Под ред. *Б.А. Ларина.* Изд. 2-е, стереотип. - М.: Прогресс, 1986.
86. **Философский энциклопедический словарь**/Гл. редакция: *Л.Ф. Ильичёв, П.Н. Федосеев, С.М. Ковалёв, В.Г. Панов.* - М.: Сов. энциклопедия, 1983. - 840 с.
87. **Французско-русский словарь**: 51 000 слов./*К.А. Ганшинаия.* - 8-е изд., стереотип. - М.: Русский язык, 1979. - 912 с.
88. *Хориков И.П., Малев М.Г.* **Новогреческо-русский словарь**/Под ред. *П. Пердикиса* и *Т. Папандопулоса.* - М.: Культура и традиции, 1993, ок. 67 000 сл.

СОДЕРЖАНИЕ

Н

Р

С

Э

Я

ЦИВИНСКИЙ Дмитрий Николаевич

Приложение метода возмущений к исследованию структуры потоков в аппаратах подготовки и транспорта нефти и газа

Печатается в авторской редакции

Корректор Алендукова Н.А.

Формат 16×84 1/16. Бумага офсетная
Усл.п.л. 12,33. Уч.-изд.л. 12,11.
Тираж 150. Рег. №182/09
Заказ № 750

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
"Самарский государственный технический университет"
443100, г. Самара, ул. Мологвардейская, 244.
Главный корпус.

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Мологвардейская, 244,
корпус №8.