

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»**

М. С. Махалов, Е. И. Ширяев

## **МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Рекомендовано в качестве учебного пособия учебно-методической комиссией специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства»

Кемерово 2011

## Рецензенты:

Кречетов А. А., доцент кафедры технологии машиностроения

Клепцов А. А, заведующий кафедрой технологии машиностроения, председатель учебно-методической комиссии специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства»

**Махалов Максим Сергеевич.** Методология научных исследований: учеб. пособие [Электронный ресурс]: для студентов специальностей 151001 «Технология машиностроения», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» и направления подготовки 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» / М. С. Махалов, Е. И. Ширяев. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows 95 ; (CD-ROM-диск) ; мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии изложены основные понятия о науке, как сфере человеческой деятельности, и производительной силе общества, дано описание структуры и организации научных исследований в России.

Рассмотрена методология научного познания и методы организации, проведения научного исследования и внедрения результатов в промышленность.

На примерах представлена техника экспериментального исследования и рассмотрены методы оценки экономической эффективности научно-исследовательских работ.

Учебное пособие может быть полезно научным работникам и аспирантам.

© КузГТУ  
© Махалов М. С.  
© Ширяев Е. И.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>5</b>
<b>1. НАУКА КАК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СИЛА ОБЩЕСТВА</b>	<b>6</b>
1.1. Определение науки	6
1.2. Наука и другие формы освоения деятельности	7
1.3. Основные этапы развития науки	8
1.4. Предпосылки становления науки производительной силой	10
<b>2. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ</b>	<b>12</b>
2.1. Структура и организация научных учреждений в России	12
2.2. Роль научных кадров, их подготовка и аттестация	13
2.3. Планирование научных исследований в России	14
<b>3. МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ КАК ОСНОВА НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА</b>	<b>16</b>
3.1. Развитие методологии научного познания	16
3.2. Принципы диалектического метода познания	17
3.3. Основные уровни научного познания	21
3.3.1. Методы эмпирического уровня исследования	21
3.3.2. Методы теоретического уровня исследования	23
3.3.3. Методы теоретического и эмпирического уровней исследования	24
<b>4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>28</b>
4.1. Методы выбора и оценки тем научных исследований	28
4.2. Виды, классификация, этапы и составные части научно-исследовательских работ	29
4.3. Поиск научной информации	31
4.4. Цель и задачи научного наследования	33
4.5. Разработка методики теоретического и экспериментального исследования	34
4.6. Метрологическое обеспечение эксперимента	38
4.7. Средства измерений	41
4.8. Планирование эксперимента	43
4.9. Обработка результатов эксперимента	47
4.9.1. Графическое изображение результатов	48
4.9.2. Подбор эмпирических формул (аппроксимация)	49
4.9.3. Операции с приближенными числами	49
<b>5. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>51</b>
5.1. Изучение переноса расплавленного электродного металла в сварочной дуге	51
5.2. Измерение температур нагрева и скоростей охлаждения металла при сварке	55
5.3. Определение напряжений и деформаций в сварном соединении	57
5.3.1. Тензорезисторный метод определения деформаций и напряжений	58
5.3.1.1. Статическая характеристика тензорезистора. Определение деформаций и напряжений	60

5.3.1.2.	Тензорезисторный преобразователь и способы измерения деформаций и напряжений	62
5.3.1.3.	Систематические погрешности тензорезисторной измерительной системы	65
5.3.2.	Поляризационно-оптический метод определения напряжений и деформаций	71
5.3.2.1.	Некоторые сведения из теории упругости	72
5.3.2.2.	Физическая сущность поляризационно-оптического метода и явления, происходящие в полярископе	74
5.3.2.3.	Получение оптически активного материала и изготовление моделей сварных соединений	77
5.3.2.4.	Масштабы моделирования	78
5.3.2.5.	Решение задач по исследованию напряженного состояния сварных соединений поляризационно-оптическим методом	78
5.3.3.	Определение деформаций и напряжений методом муаровых полос	82
5.3.3.1.	Некоторые сведения из теории деформаций	83
5.3.3.2.	Геометрическая интерпретация картин муаровых полос	84
5.3.3.3.	Расшифровка картин муаровых полос	86
5.3.3.4.	Получение контрольных растров	89
5.3.3.5.	Подготовка поверхности образцов и нанесение на них растров	90
5.3.3.6.	Изготовление и испытание образцов	93
6.	<b>ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>95</b>
7.	<b>ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>96</b>
8.	<b>ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ</b>	<b>97</b>
8.1.	Виды полезного эффекта научных исследований	97
8.2.	Этапы и особенности определения экономического эффекта НИР	99
8.3.	Расчёт годового экономического эффекта	102
8.4.	Определение долевого участия исполнителей в экономическом эффекте	108
8.5.	Расчет коэффициентов экономической эффективности НИР	110
9.	<b>ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМ КОЛЛЕКТИВОМ</b>	<b>111</b>
	<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>113</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наука играет возрастающую роль в развитии производительных сил и совершенствовании общественных отношений, создании принципиально новой техники и технологий, в повышении производительности труда, освоении недр земли, океана, космоса, охране и облагораживании окружающей среды и призвана занимать ведущие позиции по основным направлениям научно-технического прогресса, находить эффективные и своевременные решения перспективных и текущих производственных и социально-экономических проблем.

Большая роль в решении этих проблем принадлежит высшим учебным заведениям, поскольку быстрые темпы развития производства, науки и техники предъявляют высокие требования к профессиональной подготовке специалистов.

Одним из критериев деятельности ВУЗов становится то, насколько успешно выпускники решают постоянно усложняющиеся задачи научно-технического и социального прогресса.

Поэтому смысл высшего образования всё больше сводится не столько к получению сведений из определенной отрасли знаний, сколько к выработке у ее выпускников навыков самообразования, вооружению их методологией творческого подхода к анализу процессов и явлений независимо от того, где будет протекать деятельность вышедших из стен высших учебных заведений специалистов – в сфере науки или производства.

Одним из резервов повышения качества подготовки специалистов является научно-исследовательская работа студентов, а также изучение курса «Методология научных исследований». При его изучении студенты получают сведения о науке, ее роли в социалистическом обществе, приобретают навыки и усваивают методологию научного исследования. Они узнают также о том, как следует отбирать и анализировать необходимую информацию, составлять отчет по теме исследования, писать статью и делать соответствующие выводы из научных результатов.

# 1. НАУКА КАК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ СИЛА ОБЩЕСТВА

## 1.1. Определение науки

Наука играет огромную роль в развитии человеческого общества. Она пронизывает все сферы человеческой деятельности как материальной, так и духовной. Поэтому многие лучшие умы человечества пытались дать определение понятию «наука».

Аристотель (384-322 гг. до нашей эры) писал, что наука имеет предметом общее, во всяком случае, она будет искать общий закон и требовать все более и более широкого обобщения.

Ломоносов М. В. (1711-1765 гг.) говорил, что «науки подают ясное о вещах понятие и открывают потаённые действия и свойств причины.... довольствуют врожденное и вкоренное в нас любопытство..... художествам путь показывают».

Герцен А. К. (1812-1870 гг.) писал: «Наука – живой организм, которым развивается истина. В науке ... нет ни теоретических мечтаний, ни фактических случайностей: в ней – себя и природу созерцающий разум».

Пуанкаре А. (1854-1912 гг.) указывал, что «... наука – это способ сближать между собой факты, которое представляются нам разделенными, хотя они связаны некоторым естественным скрытым родством».

Толстой Л. Н. (1828-1912 гг.) в своем дневнике писал, что «наука, ученье есть нечто иное, как усвоение того, что думали до нас умные люди. Умные люди или делали логические выводы или наблюдали и, отделив наблюдаемое явление от всех других, делали выводы о причинах и следствиях явлений; или описывали то, что видели, знали, воображали. Короче: мыслили, наблюдали и воображали»

Большая советская энциклопедия (третье издание, том 17, с. 323) даёт следующее определение: «**Наука – сфера человеческой деятельности, функцией, которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности**; одна из форм общественного сознания.

**Понятие науки включает в себя как деятельность по получению нового знания, так и результат этой деятельности – сумму, полученную к данному моменту научных знаний, образующих в совокупности научную картину мира.**

**Непосредственные цели науки** – описание, объяснение и пред-

сказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет её изучения на основе открываемых ею знаков.

Говоря о влиянии науки на наши чувства и мораль, Пуанкаре писал, что «...научная истина не может быть во вражде с моралью, следовательно, не может быть аморальной науки... Наука ставит нас в постоянное соприкосновение с чем-либо, что превышает нас; она постоянно даёт нам зрелище, обновляемое и всегда более глубокое; позади того великого, что она нам показывает, она заставляет предполагать нечто ещё более великое; это ... приводит нас в восторг...».

## **1.2. Наука и другие формы освоения деятельности**

Наука как производство знаний представляет собой весьма специфическую форму деятельности человека, существенно отличную как от деятельности в сфере материального производства, так и от других видов собственно духовной деятельности. Если в материальном производстве знания лишь используются, то в науке их получение образует главную и непосредственную цель, независимо от того, в каком виде воплощается эта цель – теоретические описания, схемы технологического процесса, свод экспериментальных данных и др. В отличие от видов деятельности, результат которых в принципе бывает известен заранее, задан до начала деятельности, научная деятельность даёт приращение нового знания. Именно поэтому наука выступает как сила, постоянно революционизирующая другие виды деятельности.

От эстетического (художественного) способа освоения действительности, носителем которого является искусство, науку отличает стремление к обезличенному, максимально обобщенному объективному знанию. Если искусство развивает преимущественно чувственно-образную сторону творческих способностей человека, то наука – в основном интеллектуально-понятийную. Но их объединяет творчески познавательное отношение к действительности.

Сложный характер имеет взаимосвязь между наукой и философией, которая выполняет по отношению к науке функции методологии познания и мировоззренческой интерпретации его результатов. Различные философские направления по-разному относятся к науке и принятым ею способам построения знания.

### 1.3. Основные этапы развития науки

**1. Практика ранних человеческих обществ.** Истоки науки, уходят своими корнями в практику ранних человеческих обществ, в которой нераздельно соединялись познавательные и производственные моменты. Первоначальные знания носили практический характер, выполняя роль методических руководств конкретными видами человеческой деятельности. В странах Древнего Востока (Египет, Индия, Китай) было накоплено значительное количество такого рода знаний, которые составили важную предпосылку будущей науке.

Отдаленной предпосылкой науки можно считать и мифологию, в которой впервые была реализована попытка построить целостную систему представлений об окружающей человека действительности. Но религиозно-антропоморфный характер этих представлений делал мифологию далекой от науки. Необходимы были так же определённые социальные условия: достаточно высокий уровень развития производства и общественных отношений, приводящий к разделению умственного и физического труда и открывающий возможность для систематических занятий наукой. Такие условия сложились к XI веку до нашей эры в Древней Греции.

**2. Древнегреческая наука** (Демокрит, 460-370 гг. до нашей эры; Аристотель 384-322 гг. до нашей эры и др.) дала первые описания закономерностей природы, общества и мышления. В практику мыслительной деятельности была введена система абстрактных понятий, появились традиции поиска объективных законов мировоззрения и др. Этот период ознаменовался созданием первых теоретических систем в области геометрии (Евклид, III век до нашей эры), механики; (Архимед 287-212 гг. до нашей эры) и астрономии (Птоломей, II век до нашей эры).

**3. Средневековая наука.** В эпоху средневековья огромный вклад в развитие науки внесли учёные Арабского Востока а Средней Азии (Ибн Сина, 970-1037 гг.; Бируни, 973-1043 гг. и др.), сумевшие сохранить и развить древне-греческие традиции, обогатив науку в ряде областей знания: медицине, философии, математике, астрономии, физике, геологии, истории в др.

В Европе в это время получали широкое развитие схоластика, алхимия и астрология.

Схоластика – тип религиозной философии, характеризующийся принципиальным подчинением примату теологии (богословию), со-



единением догматических предпосылок с рационалистической методикой и особым интересом к формально-логической проблематике.

Алхимия – своеобразное явление культуры, получившее широкое распространение в эпоху позднего средневековья. Своей главной задачей алхимики считали превращение неблагоприятных металлов в благородные с помощью «философского камня». Алхимия заложила традицию опытного изучения вещества и создала почву для возникновения химии.

Астрология – ложное учение, согласно которому по расположению небесных светил (главным образом планет) якобы возможно предсказать исход предпринимаемых действий, а также будущее отдельных людей и целых народов. Астрология стимулировала на определённом этапе развитие наблюдательной астрономии и содействовала развитию её опытной базы.

**4. Классическая наука.** В современном понимании наука начала складываться в новое время (16 – 17 века) под влиянием потребностей развивающегося капиталистического производства. В этот период было подорвано господство религиозного мышления и наука начала превращаться в самостоятельный фактор духовной жизни. К тому же, кроме наблюдения, наука берёт на вооружение эксперимент, который становится ведущим методом исследования. Успехи науки этого времени (Галилей, 1564-1642 гг.; Декарт, 1595-1650 гг.; Ньютон, 1643-1727 гг. и др.) привели к тому, что она стала выступать как высшая культурная ценность. Именно в этот период произошла первая научная революция, приведшая к формированию механистической картины мира.

**5. Современная наука.** На рубеже 19–20 веков открытие электрона и радиоактивности, а также появление теории относительности Эйнштейна привело к кризису классической науки и, прежде всего к краху её философско-методологической основы – механического мировоззрения. Кризис разрешался новой революцией в науке. В ней резко возрос объём коллективного труда, появилась прочная взаимосвязь с техникой. Наука всё более превращается в непосредственную производительную силу общества, она составляет важнейший компонент научно-технической революции, её движущую силу.

## 1.4. Предпосылки становления науки производительной силой

Производство материальных благ всегда выступает в виде конкретно-исторического общественного способа производства, который представляет собой единство *производительных сил и производственных отношений*. В процессе производства производительные силы выражают отношения людей к предметам и силам природы, а производственные отношения-отношения людей друг к другу. Производство непрерывно совершенствуется и развивается. Развитие производства начинается с изменения производительных сил и, прежде всего орудий производства способствующих облегчению труда и повышению его эффективности. Затем изменяются производственные отношения – форма, в которой осуществляется производство материальных благ.

*Производительные силы* находятся в постоянном движении и развитии от низшего к высшему от простого к сложному создаются новые технические средства совершенствуется организация труда умножаются знания повышается степень искусства работника и т. д. Основным компонентом производственных сил является человек, а самым подвижным – средства труда. Их развитие приводит к глубоким качественным изменениям в технике технологии в характере и содержании труда человека в организации и управлении производством.

К производительным силам относятся также вещество и энергия природы естественное плодородие земли природные ископаемые судоходные реки и т.д. а также организация общественного труда. В определенных исторических условиях и наука становится производительной силой, она включается в решение задач материального производства.

Исходные пункты превращения науки в непосредственную производительную силу лежат в изменении технико-экономических и социальных условий общественного труда. К ним следует отнести рост объема промышленного производства, углубление разделения и возрастание обобществления труда, переход к машинному способу изготовления изделий, достижение наукой не только объективно достоверных, но и практически осваиваемых результатов.

Применение научных знаний для совершенствования технического базиса стало постоянным фактором развития промышленного производства. С развитием машинной техники материальное произ-

водство начинает приобретать черты процесса, основанного на сознательном использовании законов природы. К. Маркс писал, что науку как производительную силу породили «форма общественно развитого труда».

Необходимой предпосылкой превращения науки в непосредственную производительную силу является высокий уровень развития науки, характеризуемый как большими достижениями в области изучения законов природных явлений, так и практическим применением научных исследований, возможностью осуществлять служебные функции по отношению к материальному производству.

Таким образом, зрелость науки – основной фактор становления её новой производительной силой, а основным условием такого становления является высшее техническое образование. Поскольку без достаточно большого количества хорошо подготовленных инженерных кадров некому соединять науку с производством.

Неотъемлемой частью процесса превращения науки в непосредственную производительную силу является также формирование технических наук: механики, гидравлики, теплотехники, электротехники, электроники и др.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

### 2.1. Структура и организация научных учреждений в России

В России научные исследования ведут следующие организации:

1. Научно-исследовательские институты (НИИ) Российской Академии Наук;
2. НИИ, подчинённые отраслевым министерствам;
3. Высшие учебные заведения (ВУЗы) – университеты, академии, политехнические и специализированные (отраслевые) институты.

Научные исследования и разработки проводят также в проектно-конструкторских и технологических институтах, лабораториях и бюро, а также на опытных станциях, в архивах и др.

Основные задачи, права и обязанности научно-исследовательских организаций определены в их уставах, утверждённых вышестоящими организациями.

Среди организаций работающих над общей проблемой, выделяют головные научно-исследовательские организации, которые осуществляют внутреннюю и межведомственную координацию научных исследований, контролируют выполнение заданий другими научными учреждениями.

Высшим научным учреждением страны является Российская Академия Наук (РАН). Она осуществляет общее научное руководство исследованиями по важнейшим проблемам, а по отношению к подведомственным академическим институтам она выступает и как орган управления.

Академические институты проводят фундаментальные исследования по своему профилю и подготавливают рекомендации по использованию результатов таких исследований в народном хозяйстве. Они участвуют также и во внедрении этих результатов. Кроме выполнения исследований, академические институты готовят научные кадры. Основными структурными подразделениями институтов являются отделы, лаборатории, секторы, вычислительные центры, экспериментальные базы и др.

Высшие учебные заведения (ВУЗы) не только готовят специалистов, но и проводят большую научно-исследовательскую работу.

Важным преимуществом вузов в вопросах выполнения научной работы является наличие комплекса специалистов по различным на-

правлениям науки, что позволяет проводить крупные исследования на стыках научных дисциплин. Кроме кафедр, ведущих учебную и научную работу, при вузах организуют НИИ, проблемные и отраслевые лаборатории и др. Научными работами в вузах руководит научно-исследовательский сектор (отдел).

Вузы выполняют госбюджетную и хоздоговорную научно-исследовательскую работы, в которых принимают участие и студенты. Участие студентов в научном и техническом творчестве способствует глубокому освоению выбранной ими специальности.

Научно-исследовательские организации, входящие в отраслевые министерства, выполняют главным образом прикладные исследования.

Важную роль в постановке и обсуждении многих проблем науки и техники играют научно-технические общества (НТО), которые организованы по производственно – отраслевому принципу. Первичные организации НТО находятся в академиях, НИИ, вузах и предприятиях.

В последнее время в нашей стране организована система научных центров: *региональные, комплексные и отраслевые*.

Комплексные центры – более крупные объединения например, Сибирское отделение РАН), включающие академические НИИ, проектные институты и конструкторские бюро, опытные заводы и ВУЗы.

Отраслевые центры – объединение научных учреждений одной или близких отраслей. Их деятельность носит общероссийский характер.

Кроме того, имеется система научно-производственных объединений (НПО), а в настоящее время формируются межотраслевые научно-технические комплексы (МНТК), прообразом которых можно считать Институт электросварки им. Е.О. Патона АН Украины. В его состав входят НИИ, конструкторско-технологическое бюро, экспериментальное производство, опытные заводы и инженерные центры. Это позволяет концентрировать усилия на решении крупных проблем и быстрейшем внедрении результатов важнейших научно-исследовательских работ.

## **2.2. Роль научных кадров, их подготовка и аттестация**

К научным кадрам (научим работникам) относят лиц, имеющих высшее образование и ведущих научно-исследовательскую (научно-

педагогическую) работу. Научным работникам, успешно выполняющим научную и педагогическую работу, присуждают учёные степени и присваивают учёные звания.

*Учёные степени доктора и кандидата наук* присуждают обычно после успешной защиты диссертации, содержащей результаты самостоятельной научно-исследовательской работы.

*Учёные звания академика, члена-корреспондента, профессора, доцента, старшего научного сотрудника* присваивают лицам, которые занимают должности, соответствующие этим званиям и успешно выполняют обязанности, установленные для этих должностей. Выдающимся ученым нашей страны присуждают звания «Заслуженный деятель науки и техники» и «Заслуженный работник высшей школы».

Авторитет учёного определяется результатами его работы, эрудицией и квалификацией.

Эрудиция – широкое и глубокое знание той отрасли науки, в которой работает учёный, а также знание смежных областей других наук. Квалификация учёного определяется наряду с эрудицией суммой его творческих навыков в проведении теоретической и экспериментальной работы способностью критически осмысливать научную информацию. Учёный должен нестандартно мыслить, находить новые решения, выдвигать новые идеи, ставить эксперимент, теоретически объяснять полученные результаты.

Важнейшим источником пополнения научных кадров являются специалисты с высшим образованием. Около 10% выпускников вузов вовлекаются в сферу науки.

Основной формой подготовки научных кадров является аспирантура, которая организуется при научных учреждениях (вузах, НИИ и др.), располагающих высококвалифицированными кадрами научных руководителей и экспериментальной базой.

Научных и научно-педагогических работников избирают на вакантные должности по конкурсу на Совете учреждения путём тайного голосования и через каждые пять лет переизбирают.

### **2.3. Планирование научных исследований в России**

Планирование научных исследований предполагает определение основных, условий выполнения научно-исследовательских работ (НИР): цель, задачи, объём, затраты, сроки выполнения, исполните-

лей, ожидаемые результаты и др.

В соответствии со сложившейся практикой научные учреждения составляют перспективные 5-летние и годовые планы НИР, а также планы подготовки научных кадров.

Формирование пятилетних планов происходит примерно в такой последовательности: предварительное обсуждение основных научных направлений плана с учётом указаний вышестоящих организаций; уточнение тематики и сроков выполнения работ; составление, обсуждение на Совете учреждения сводного плана и утверждение его в вышестоящей организации.

Годовые планы НИР составляют в соответствии с перспективным планом. Они содержат темы, переходящие из плана предыдущего года; новые работы, подлежащие выполнению в соответствии с пятилетним планом и по указанию вышестоящих организаций, а также инициативные работы» одобренные вышестоящей организацией. Составными частями годового плана являются планы внедрения результатов НИР, план по труду, смета производства, финансовый план и др.

Планирование НИР позволяет обеспечить ритмичность, целеустремленность и эффективность их выполнения, а также избежать неоправданных затрат времени и средств.

### **3. МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ КАК ОСНОВА НАУЧНОГО ТВОРЧЕСТВА**

Методология – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. Методология научного познания – учение о принципах построения, формах и способах научно-познавательной деятельности,

Методология наука даёт характеристику компонентов научного исследования – его объекта, предмета анализа, задачи исследования (или проблемы), совокупности исследовательских средств необходимых для решения задачи данного типа, а также формирует представление о последовательности движения исследователя в процессе решения задачи.

Наиболее важными точками приложения методологии являются построение предмета исследования, построение научной теории, а также проверка полученного результата с точки зрения его истинности.

#### **3.1. Развитие методологии научного познания**

Родоначальником методологии в собственном смысле этого слова является английский философ Ф. Бекон (1561–1626 гг.), основавший индуктивный, эмпирический подход к научному познанию.

Следующий шаг в развитии методологии сделал французский мыслитель Р. Декарт (1596–1650 гг.), сформировавший проблему познания как проблему отношения субъекта и объекта. Однако вплоть до немецкого философа И. Канта (1724–1804 гг.) проблемы методологии переплетались с теорией познания. Кант обосновал особый статус методологического знания, проведя различие между объективным содержанием знания и формой, при помощи которой оно организуется в систему. Г. Гегель (1770–1831 гг.) завершил создание диалектики в её классической форме. И, наконец, в сороковых годах 19 века К. Маркс (1818–1883 гг.) и Ф. Энгельс (1820–1895 гг.) создали диалектический материализм и тем самым завершили формирование философских основ научной методологии.

В основе научной методологии лежат законы: перехода количества в качество, единства и борьбы противоположностей, отрицания отрицания. Она оперирует такими категориями, как материя и сознание, единичное и общее, часть и целое, форма и содержание, количе-



ство и качество, необходимость и случайность, сущность и явление, возможность и действительность и др. Она даёт в распоряжение научного работника методы и способы научного познания действительности. Ими являются сравнение, анализ, синтез, обобщение, абстракция, индукция, дедукция и др.

### **3.2. Принципы диалектического метода познания**

Принципом диалектического метода познания является положение, содержащее в себе определенные требования к мыслящему субъекту, ориентирующие его в познавательной деятельности.

Принцип и закон имеют много общего, они отражают один и тот же фрагмент действительности, но отражают его в разной форме: закон – в виде образа (положительного знания), принцип – в виде определенного требования (регулятивной нормы). Отличие принципа от закона выражается также и в том, что он может быть оформлен на основе не одного, а нескольких законов (свойств материальных образований).

О принципах диалектического метода познания в философской литературе нет единого мнения. Различия касаются как формулировки, так и числа этих принципов. Далее рассматривается 12 принципов: отражения, активности, всесторонности, восхождения от единичного к общему и обратно, взаимосвязи качественных и количественных характеристик, детерминизма, историзма, противоречия, диалектического отрицания, восхождения от абстрактного к конкретному, единства исторического и логического, единства анализа и синтеза.

**1. Принцип отражения** сформирован на основе материалистического решения основного вопроса философии; материя – первична и не зависит от сознания, сознание – вторично и обуславливается материей. Оно существует не всегда и не везде, а появляется на особой стадии развития материи. Оно вторично также и потому, что представляет собой отражения внешнего мира, снимок с объективно существующих предметов и явлений.

Следовательно, при исследовании объекта надо исходить не из наших субъективных мнений о нем, а из его природы, воспроизводя в сознании логику его собственного развития. Сознание представляет собой высшую форму отражения, которая присуща человеку и возникает лишь в общества на основе трудовой деятельности. Потеря спо-

способности отражать действительность неизбежно ведет к потере всех других свойств сознания, например, способности к творчеству, направленной на преобразование окружающей нас действительности и т. п.

**2. Принцип активности** считает, что необходимым условием для раскрытия сущности исследуемого объекта является активность субъекта, в процессе познания. Поскольку если субъект будет выступать в роли наблюдателя, он сможет отразить лишь некоторые внешние свойства объекта, которые во многих случаях не дают представления о его сущности. Поэтому, чтобы раскрыть сущность объекта, необходимо на него активно воздействовать.

**3. Принцип всесторонности** предписывает рассматривать не изолированно от необходимых условий его существования, а в его связях и отношениях с другими объектами. В мире все явления находятся между собой в состоянии взаимосвязи и изолированности: они связаны в одних отношениях а не связаны в других; в них происходят и такие изменения, которые вызывают соответствующие изменения в других объектах, и такие, которые не вызывают таких изменений. Всестороннее изучение объекта дает возможность установить, с какими объектами он имеет связи, а с какими – нет. Это необходимо потому, что взаимосвязи являются необходимым условием и формой существования предмета (явления) а их рассмотрение обеспечивает действительное познание объекта.

**4. Принцип восхождения от единичного к общему и обратно** (единство индукции и дедукции) исходит из того, что хотя исторически познание развивается от единичного к общему, от сознания объекта как единичного к выявлению у него общих свойств с другими объектами, такой метод познания способен дать лишь вероятностное знание, а не истинное, способен описать явление, но не сущность.

Для проникновения в сущность объекта необходимо движение от общего к особенному и единичному. Впервые такой метод познания был предложен Аристотелем (384–322 гг. до нашей эры). Но осуществить такое движение познания можно только тогда, когда общее вычленено из отдельного, что осуществляется лишь путем восхождения от единичного к общему и всеобщему. Значит, движение сознания от общего к единичному необходимо предполагать его движение от единичного к общему и без последнего вообще невозможно. Восхождение от единичного к общему осуществляется путем индуктивных умозаключений, восхождение же от общего к единичному – пу-

тем дедуктивных умозаключений, дающих истинные выводы.

**5. Принцип взаимосвязи качественных и количественных характеристик** предполагает обусловленность качественных характеристик объекта количественными, и, наоборот, количественных – качественными. Взаимозависимость качественных и количественных характеристик впервые теоретически была выражена Гегелем (1770–1831 гг.) в виде всеобщего закона перехода количества в качество.

Однако следует иметь в виду, что не всякое количественное изменение вызывает изменение качества. Существует определенная самостоятельность качественной и количественной определенностей, особые границы, в пределах которых количественные изменения не вызывают изменения качества. Лишь выход количественных изменений за эти границы обуславливает изменения качества (появление нового качества). Появление нового качества изменяет и количественные характеристики, т.е. возникает новая количественная определенность, которая, изменяясь в рамках данного качества, при достижении известного предела вызывает его изменение, и т. д., без конца.

**6. Принцип детерминизма** требует выявления необходимой обусловленности каждого свойства, открываемого у исследуемого объекта. Он формируется на основе причинной обусловленности явлений как общей формы бытия, признания необходимой связи причины со следствием, а также обусловленности качественных характеристик (изменений) количественными, формы – содержанием, явления – сущностью и др.

Ф. Энгельс (1820–1895 гг.) впервые показал, что взаимодействие между объектами является причиной происходящих изменений (всеобщей формы бытия). Каждое изменение, каким бы оно ни было: внутренним или внешним, необходимым или случайным, качественным или количественным, – имеет свою причину, обуславливается соответствующими взаимодействиями.

**7. Принцип историзма** выражает атрибутивность (неотъемлемость) движения материи, его всеобщий характер. Следовательно, чтобы познать объект (явление), необходимо рассматривать его в движении, в становлении и развитии. Этот принцип сформулировал Платон (428–348 гг. до нашей эры), который применительно к познанию вещей рекомендовал представлять «их в становлении, созидании, гибели и изменчивости».

Говоря о необходимости рассматривать объект в его движении и развитии, принцип историзма требует выявления, объективной необ-

ходимой связи между следующими друг за другом явлениями, установления объективных законов, обуславливавших функционирование и развитие объекта, возможность перехода в новое качество.

**8. Принцип противоречия** говорит о том, что источником движения и развития материальных образований, являются свойственные им, противоречивые тенденции, содержащиеся в них и между ними противоречия, борьба противоположностей. Обнаружение противоречий в объекте исследования позволяет субъекту объяснять, происходящие в нем изменения и воспроизвести объективную картину его функционирования и развития.

**9. Принцип диалектического отрицания** предполагает, такое отрицание, которое не просто уничтожает отрицаемое, но удерживает от него все положительное, соответствующее новому уровню развития объекта, т.е. оно представляет собой единство уничтожения и сохранения в процессе развития. Такое отрицание происходит в результате развития присущих объекту внутренних противоречивых тенденций, а не вследствие воздействия каких-либо внешних сил.

**10. Принцип восхождения от абстрактного к конкретному** считает, что исследование должно начинаться не с конкретного, а с абстрактного, с понятий, отражающих простейшие общие или всеобщие стороны объекта познания. Причем в качестве исходного звена следует брать не любую общую сторону, а такую, которая является решающей в исследуемом объекте, определяющей все другие его стороны. Далее необходимо проследить, как она возникла, какие стадии прошла и как влияла на все стороны этого объекта.

**11. Принцип исторического и логического** требует начинать исследование объекта с тех его сторон, которые исторически предшествовали другим. На первый взгляд это требование противоречит принципу восхождения от абстрактного к конкретному, согласно которому исследование следует начинать не с исторически первого, а с основного, определяющего все другие стороны объекта. Но если иметь в виду, что не все исторически первое является определяющим, а все определяющее в объекте выступает как исторически первое по отношению к другим его сторонам и связям, то никакого противоречия между указанными принципами нет.

**12. Принцип единства анализа и синтеза** утверждает, что анализ не возможен без синтеза так же, как синтез – без анализа, ибо анализ разлагает на отдельные элементы (свойства) какое-то целое, возникшее в результате синтеза, а синтез соединяет отдельные эле-

менты (свойства), возникшие (полученные) в результате анализа.

Различают три вида анализа и синтеза: прямой, возвратный и структурно-генетический. Прямой вид анализа и синтеза присущ эмпирической (первой) стадии развития познания, когда происходит лишь регистрация явлений и их общих сторон, лежащих на поверхности. Возвратный (качественный) вид анализа и синтеза направлен на выявление определенной причинно-следственной связи между исследуемыми предметами или явлениями. Применение структурно-генетического вида анализа и синтеза связано с методом движения познания от абстрактного к конкретному.

### 3.3. Основные уровни научного познания

В каждом научном исследовании можно выделить два основных уровня:

1) эмпирический, на котором происходит процесс чувственного восприятия, установления и накопления фактов;

2) теоретический, на котором достигается синтез знания, проявляющийся чаще всего в виде создания научной теории.

В связи с этим общенаучные методы исследования можно разделять на три группы:

1) методы эмпирического уровня;

2) методы теоретического уровня;

3) методы эмпирического и теоретического уровней исследования.

#### 3.3.1. Методы эмпирического уровня исследования

Эмпирический уровень исследования связан с выполнением экспериментов, наблюдений, и поэтому здесь велика роль чувственных форм отражения окружающего мира. К основным методам эмпирического уровня исследования относятся наблюдение, измерение и эксперимент.

**Наблюдение** – целенаправленное и организованное восприятие объекта исследования, позволяющее получить первичный материал для его изучения. В процессе наблюдения непосредственного воздействия наблюдателя на объект исследования не происходит. При наблюдениях часто применяют различные приборы и инструменты.

Чтобы наблюдение было плодотворным, оно должно удовлетворять следующим требованиям:

- 1) наблюдение должно вестись для определенной четко поставленной задачи;
- 2) при наблюдении в первую очередь должны рассматриваться интересующие исследователя стороны явления;
- 3) наблюдение должно быть активным;
- 4) при наблюдении надо искать нужные объекты, определенные черты явления.

Наблюдение необходимо вести по плану, оно должно подчиняться определенной тактике. Результаты наблюдения дают не только первичную информацию об объекте исследования, но при ее правильном объяснении в некоторых случаях они могут привести к крупным открытиям, в связи с чем, наблюдательность является одним из важных качеств научного работника.

Качество результатов, полученных при инструментальном наблюдении, определяется точностью применяемых приборов, которые могут приводить к возмущающему воздействию на объект.

**Измерение** – процедура определения численного значения характеристик исследуемых материальных объектов (массы, скорости, температуры и т. п.). Измерения выполняются с помощью соответствующих измерительных приборов и сводятся к сравнению измеряемой величины с некоторой однородной с ней величиной, принятой в качестве эталона.

В результате высококачественных измерений можно установить факты или сделать эмпирические открытия, приводящие к коренному изменению взглядов в какой-либо области знаний. Измерение не может быть абсолютно точным. В связи с чем, при измерениях большое значение уделяется погрешности измерений: стремятся определить эту погрешность и уменьшать ее.

**Эксперимент** – система операций, воздействий и наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях, которые могут осуществляться в естественных и искусственных условиях при изменении характера протекания процесса. Обычно эксперимент используется на заключительной стадии исследования. Он является критерием истинности теории и гипотез, а во многих случаях – источником новых теоретических представлений. Всякое игнорирование эксперимента ведет к ошибкам.

Преимущества экспериментального изучения объекта по сравнению с простым наблюдением:

- 1) явление (объект) можно изучать в «чистом» виде благодаря

устранению побочных факторов;

2) эксперимент дает возможность изучения свойств объекта в экстремальных условиях, что позволяет глубже проникнуть в сущность явлений;

3) эксперимент можно повторить и получить необходимое число измерений.

Эксперименты могут быть натуральными и модельными. Натурный изучает объекты в их естественном состоянии, модельный моделирует объекты (процессы) и позволяет изучать более широкий диапазон изменения определявших факторов.

### **3.3.2. Методы теоретического уровня исследования**

На теоретическом уровне исследования используются идеализация, формализация, принятие гипотезы и создание теорий.

**Идеализация** – мысленное создание объектов и условий, которые не существуют в действительности и не могут быть созданы практически, она дает возможность лишить реальные объекты некоторых присущих им свойств, или наделить их гипотетическими свойствами (абсолютно чёрное тело, бесконечное тело, идеальный газ и т.п.), что позволяет получить решение задачи в конечном виде. Естественно, любая идеализация правомерна лишь в определенных пределах.

**Формализация** – метод изучения объектов, при котором основные закономерности явлений отображаются в знаковой форме – с помощью формул или специальных символов. Она обеспечивает обобщенность подходов к решению различных задач, позволяет устанавливать закономерности между изучаемыми фактами. Символика не допускает двусмысленных толкований.

**Гипотеза** – научно обоснованная система умозаключений, посредством которой на основе ряда фактов делается вывод о существовании объекта, связи или причины явления. Гипотеза является формой перехода от фактов к законам. Ввиду своего вероятностного характера она требует проверки, после которой она или видоизменяется, или отвергается, или становится научной теорией (гипотезой являлся, например, известный в теплопроводности закон Фурье).

В своем развитии гипотеза проходит три основных стадии: накопление фактического материала и высказывание на его основе некоторых предположений; развертывание предположений в гипотезу; проверка и уточнение гипотезы. Основные правила выдвижения и

проверки гипотезы:

1) гипотеза должна находиться в согласии или быть совместимой со всеми фактами, которых она касается;

2) из многочисленных противостоящих одна другой гипотез, выдвинутых для объяснения серии фактов, предпочтительнее та, которая единообразно объясняет большее их число;

3) для объяснения связанной серии фактов нужно выдвигать возможно меньше разных гипотез;

4) при выдвижении гипотезы необходимо сознавать вероятностный характер ее выводов;

5) гипотезы, противоречащие одна другой, не могут быть вместе истинными, за исключением того случая, когда они объясняют различные стороны и связи одного и того же объекта.

**Теория** – наиболее высокая форма обобщения и систематизация знаний, Она описывает, объясняет и предсказывает совокупность явлений в некоторой области действительности и сводит открытые в этой области законы к единому объединяющему началу. Теория в отличие от гипотезы имеет объективное (проверенное практикой) обоснование.

К новым теориям предъявляются следующие требования:

1) научная теория должна быть адекватной описываемому явлению или объекту;

2) она должна соответствовать эмпирическим данным;

3) в ней должны существовать связи между различными положениями, обеспечивающие переход от одних утверждений к другим;

4) она должна удовлетворять требованию полноты описания некоторой области действительности и объяснять взаимосвязи между различными компонентами системы;

5) теория должна обладать эвристичностью, конструктивностью и простотой.

Эвристичность теории отражает ее предсказательные и объяснительные возможности. Конструктивность теории состоит в простой, совершаемой по определенным правилам, проверяемости основных ее положений. Простота теории достигается введением обобщенных законов, сокращением и уплотнением информации.

**Законом** называется теория, обладающая большой надежностью и подтвержденная многочисленными экспериментами. Он существует независимо от сознания людей.



### 3.3.3. Методы теоретического и эмпирического уровней исследования

**Сравнение** – акт мышления, посредством которого классифицируется, упорядочивается и оценивается содержание бытия в познания. Акт сравнения состоит в попарном сопоставлении объектов с целью выявления их отношений. Сравнение имеет смысл только в совокупности «однородных» предметов, образующих класс. Сравнимость предметов в классе осуществляется по признакам, существенным для данного рассмотрения.

**Анализ** – (разложение, расчленение) – процедура мысленного, а часто также и реального расчленения предмета (явления, процесса), свойства предмета или отношения между предметами на части (признаки, свойства, отношения). Процедуры анализа входят органической составной частью во всякое научное исследование и обычно образуют его первую стадию.

**Синтез** – (соединение, сочетание) – соединение различных элементов сторон объекта в единое целое (систему), которое осуществляется как в практической деятельности, так и в процессе познания. Синтез и анализ дополняют друг друга. Синтез как познавательная операция имеет множество различных форм.

Эмпирические данные исследования того или иного объекта синтезируются при теоретическом сообщении. Диалектический метод восхождения от абстрактного к конкретному как способ построения теоретического знания о сложных, развивающихся объектах также представляет собой одну из форм синтеза.

**Обобщение** – форма приращения знания путем мысленного перехода от частного к общему, которой обычно соответствует переход на более высокую ступень абстракции. Обобщение позволяет извлекать общие принципы (законы) из хаоса затемняющих их явлений, отождествлять множество различных вещей и явлений.

**Абстракция** (отвлечение) – метод научного исследования, основанный на том, что при изучении некоторого явления (процесса) не учитываются его несущественные стороны и признаки. Это позволяет упрощать картину изучаемого явления и рассматривать его как бы в «чистом виде». Абстракция связана с представлением об относительной независимости явлений и их сторон и с отделением существенных сторон от несущественных. Предписываемые абстракцией процедуры сводятся, как правило, к перестройке предмета исследования, к эквивалентному, с точки зрения данной ситуации, замещению пер-

воначального предмета другим.

**Индукция** (наведение) – вид обобщений, связанных с предвосхищением результатов наблюдений и экспериментов на основе данных прошлого опыта. Начинается индукция с анализа и сравнения данных наблюдения или эксперимента. При этом по мере расширения множества этих данных может выявиться регулярная повторяемость какого-либо свойства или отношения.

Наблюдаемая в опыте многократность повторения при отсутствии исключений внушает уверенность в ее универсальности и естественности, что приводит к индуктивному обобщению – предположению, что именно так будет обстоять дело во всех сходных случаях. Для практики характерны обобщения на основе исследования не всех, а только некоторых случаев. Такое обобщение называется неполной индукцией. Познавательный смысл индукции – абстрагирующая работа мысли помогает идти вперед при недостатке практических знаний. Неполная индукция обычно рассматривается как источник предположительных суждений – гипотез.

**Дедукция** (выведение) – переход от общего к частному. В более специфическом смысле термин «дедукция» обозначает процесс логического вывода, т.е. перехода по тем или иным правилам логики от некоторых данных предположений – посылок к их следствиям (заключениям).

Ф. Энгельс писал, что «индукция и дедукция связаны между собой столь же необходимым образом, как синтез и анализ. Р. Декарт противопоставлял дедукцию интуиции, посредством которой, по его мнению, человеческий разум «непосредственно усматривает» истину, в то время как дедукция доставляет разуму лишь опосредствованное (полученное путем рассуждения) знание.

**Интуиция** – способность постижения истины путем прямого ее усмотрения без обоснования с помощью доказательства. Роль интуиции особенно велика там, где необходим выход за пределы существующих приемов познания для проникновения в неведомое. Интуиция не составляет особого пути познания, идущего в обход ощущений, представлений и мышления. Она – своеобразный тип мышления, когда отдельные звенья процесса мышления проносятся в сознании более или менее бессознательно, а предельно ясно осознается именно итог мысли – истина, интуиции бывает достаточно для усмотрения истины, но ее недостаточно, чтобы убедить в этой истине других и даже самого себя. Для этого необходимо доказательство.

**Доказательство** – процесс установления истины, обоснование истинности суждения как при помощи некоторых логических рассуждений, так и посредством чувственного восприятия некоторых физических предметов и явлений, а также ссылок на такие восприятия.

Доказательства в узком смысле слова, характерные для дедуктивных наук (логики, математика и др.), представляют собой цепочки умозаключений (правильных), ведущих от истинных посылок (оснований) к доказываемым тезисам. Причем, истинность посылок не должна обосновываться в самом доказательстве, а должна каким-либо образом устанавливаться заранее.

**Аналогия** – метод научного исследования, когда знания о неизвестных объектах и явлениях достигаются на основе сравнения с общими признаками объектов и явлений, которые исследователю известны. Вывод по аналогии носит вероятностный характер.

**Моделирование** – метод научного познания, заключающийся в замене при исследовании изучаемого объекта специальной моделью, воспроизводящей главные особенности оригинала, и ее последующем исследовании. Результаты такого исследования с помощью специальных методов распространяют на оригинал.

Модели могут быть физическими и математическими. При физическом моделировании модель и оригинал имеют одинаковую физическую природу, при математическом – одинаковую или различную физическую природу. И в том, и в другом случае модель представляется системой уравнений.

## 4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1. Методы выбора и оценки тем научных исследований

В научно-исследовательской работе различают научные направления, проблемы и темы.

**Научное направление** – сфера научных исследований коллектива, посвященных решению крупных, фундаментальных теоретически-экспериментальных задач в определенной отрасли науки. Структурными единицами направления являются комплексные проблемы, темы и вопросы.

**Проблема** – сложная научная задача, которая охватывает значительную область исследования и имеет перспективное значение. Проблема состоит из ряда тем.

**Тема** – научная задача, охватывающая определенную область научного исследования. Она базируется на многочисленных исследовательских вопросах, под которыми понимают более мелкие научные задачи.

При разработке темы или вопроса выдвигается конкретная задача в исследовании – разработать новый материал, конструкцию, технологию и т.д. Решение проблемы ставит более общую задачу – сделать открытие, решить комплекс научных задач обеспечивающих ускорение процесса общественного производства.

Выбор (постановка) проблем или тем является трудной и ответственной задачей и включает в себя ряд этапов.

Первый этап – формулирование проблемы.

Второй этап – разработка структура проблемы: выделяют темы, подтемы, вопросы.

Третий этап – устанавливают актуальность проблемы, т.е. ее ценность для науки и техники. При этом важно уметь отличить псевдопроблемы от научных проблем. Псевдопроблемы в основе своей имеют антинаучный характер. Особое место среди них занимают проблемы, которые повторяют уже решаемые или решенные.

После обоснования проблемы и установления ее структуры приступают к выбору темы научного исследования. К теме предъявляют ряд требований: актуальность, новизна, экономическая эффективность и значимость.

Критерия для установления степени актуальности пока нет. Для

прикладных разработок таким критерием является экономический эффект.

Новизна темы должна быть не инженерной, а научной, т.е. принципиально новой. Следует отличать научную задачу от инженерной, которая решается на основе уже открытого закона. Все то, что уже известно, не может быть предметом научного исследования.

На стадии выбора темы экономический эффект может быть определен только ориентировочно. Для теоретических исследований требование экономичности может уступать требованию значимости.

Значимость определяет престиж отечественной науки, является фундаментом для прикладных исследований.

Важной характеристикой темы является осуществимость или внедряемость. Поэтому, обосновывая тему, научный работник должен хорошо знать производство и его запросы на данном этапе.

Темы исследований должны выбираться по профилю коллектива. Однако для предупреждения научного застоя в коллективе должно быть около 10% непрофильных тем.

#### **4.2. Виды, классификация, этапы и составные части научно-исследовательских работ**

Научно-исследовательские работы (НИР) классифицируют по следующим признакам:

а) по степени важности для народного хозяйства – важнейшие (выполняемые по государственному плану и планам союзных республик, а также по целевым комплексным программам); работы, выполняемые по заданию (плану) министерств и ведомств; работы, выполняемые по плану (инициативе) организации (завода, НИИ и др.);

б) в зависимости от источников финансирования – госбюджетные (финансируются из средств государственного бюджета) и хозяйственные (финансируются организациями-заказчиками в соответствии с договором на выполнение НИР);

в) по длительности разработки – долгосрочные (выполняемые в течение нескольких лет) и краткосрочные (выполняемые обычно за один год);

г) по целевому назначению – теоретические» прикладные и разработки.

**Теоретические НИР** – обычно фундаментальные работы. Цель таких работ – расширить знания, более глубоко понять закон приро-

ды, выявить новые закономерности.

**Прикладные НИР** – направлены на создание новых методов, на основе которых разрабатывают новые машины, материалы, технологии, и организацию работ. Они опираются на результаты теоретических исследований и должны удовлетворять потребность общества в развитии конкретной отрасли производства.

**Разработки** – преобразовывают прикладные (теоретические) исследования в технические приложения. Конечная цель разработок – подготовить к внедрению машины, материалы и технологии путем детальной (подробной) их разработке с последующей апробацией и внедрением в производство.

**Процесс выполнения НИР** включает в себя 6 этапов:

**1. Формулирование темы.** При выполнении этого этапа предполагается общее ознакомление с проблемой, по которой предстоит выполнять работу, и предварительное ознакомление с литературой, после чего формулируют тему исследования. На этом этапе также составляют план, разрабатывают техническое задание и определяют ожидаемый экономический эффект.

**2. Формулирование цели и задач исследования.** Этот этап включает подбор и составление библиографических списков литературы, изучение научно-технических отчетов по теме НИР, составление аннотации источников и анализ прорабатываемой информации. В заключение ставятся цель и задача исследований.

**3. Теоретические исследования.** При выполнении этого этапа предусматривается изучение физической сущности явления, формулирование гипотез, выбор и обоснование физической модели. Затем производится математизация модели, получение аналитических решений и их анализ.

**4. Экспериментальные исследования.** На этом этапе после разработки цели и задач экспериментального исследования производят планирование эксперимента, разработку методики его проведения, выбор средств измерения. Заканчивается этап проведением эксперимента и обработкой полученных результатов.

**5. Анализ и оформление научных исследований.** Этап состоит в сопоставлении результатов экспериментов с теоретическими данными и анализе расхождений. Затем – уточнение теоретических моделей и дополнительные эксперименты, на основе которых становится возможным превращение гипотезы в теорию. Работы этого этапа завершаются формулированием научных и производственных выво-

дов и составлением научно-технического отчёта.

#### **6. Внедрение результатов исследования в производство и определение экономического эффекта.**

Трудоемкость выполнения отдельных этапов НИР различна. Теоретические исследования требуют больших затрат умственного труда. Здесь могут быть и неудачи. Экспериментальная часть наиболее трудоемка и материалоемка. Особенно когда возникает необходимость в повторных экспериментах.

**Этапы НИР** – разработки отличаются от рассмотренных. Они следующие:

- 1) формулирование темы, цели и задач исследования;
- 2) изучение литературы, проведение исследований (при необходимости) а подготовка к техническому проектированию;
- 3) техническое проектирование с разработкой вариантов, разработка и технико-экономическое обоснование проекта;
- 4) рабочее проектирование;
- 5) изготовление опытного образца и его стендовые и производственные испытания;
- 6) доработка опытного образца;
- 7) государственные испытания.

### **4.3. Поиск научной информации**

Отыскать в потоке научно-технической информации самое передовое по избранной теме НИР – сложная задача, так как ежегодно в мире издаётся около сотни тысяч книг по различным вопросам, еще больше издаётся журналов. Несмотря на это по разным причинам большое количество научно-технической информации остается неопубликованной.

Для ускорения отбора необходимой документации из общего объема и повышения эффективности труда научных работников в нашей стране создана общегосударственная служба научно-технической информации (НТИ), которая включает в себя следующие основные организации:

- 1) ВИНТИ – Всесоюзный институт научной и технической информации. Он обрабатывает информацию и издает реферативные журналы и сборники;
- 2) ЦНИИПИ – Центральный научно-исследовательский институт патентной информации;

3) ВНИИЦ – Всесоюзный научно-технический информационный центр, который регистрирует НИР, ОКР и диссертации и готовит информацию по ним;

4) ГПНТБ – Государственная публичная научно-техническая библиотека. Она содержит всю техническую литературу и научную документацию страны, снабжает различные организации научно-технической литературой, издает журнал «Новости технической литературы»;

5) ВНИИКИ – Всесоюзный научно-исследовательский институт технической информации, классификации и кодирования. Он издает информацию по стандартизации, измерениям и измерительной технике.

Общегосударственная служба информации включает в себя также отраслевые и региональные информационные центры, отделы НТИ в НИИ, организациях и предприятиях.

Носители информации:

- книги (учебники, монографии, брошюры);
- периодические издания (журналы, бюллетени, научные сборники и др.);
- нормативные документы (стандарты, инструкции и др.);
- каталоги и прейскуранты;
- патентная информация;
- отчеты о НИР и ОКР;
- информационные издания (сборники НТИ, экспресс – информации, информационные листки и др.);
- диссертации и авторефераты по ним и др.

Поиск научной информации (информационный поиск) – совокупность операций, направленных на отыскание документов, необходимых для разработки темы. Поиск может быть ручным и автоматизированным. Ручной поиск осуществляется по картотекам, библиографическим карточкам, печатным указателям, автоматизированный – на ЭВМ.

Информационный поиск осуществляется с помощью информационно-поискового языка. В настоящее время применяется универсальная десятичная классификация документов информации (УДК). В СССР она введена с 11 мая 1962 г. УДК имеет ряд преимуществ – удобство шифрования, относительная быстрота поиска информации и др. Например, таблицы УДК по сварке имеют следующие индексы:

62 – Инженерное дело. Техника в целом;



621 – Общее машиностроение;

621.791 – Общие вопросы сварки и родственных процессов;

621.791.75 – Дуговая сварка;

621.791.75.9 – Дуговая сварка в защитной атмосфере. Для ускорения поиска необходимо прибегать к помощи ВИНИТИ, ВНТИЦ, ЦНИИПИ и других центров информация, из которых можно получать обзоры, экспресс-информацию и другие документы.

При поиске следует уделить внимание изучению различных литературных источников, как в оригинале, так и по переводным изданиям. Опирайтесь на литературный анализ других авторов не рекомендуется, поскольку каждый автор прорабатывает литературу применительно к своей теме исследования.

Учет проработанной информации сводится к составлению библиографии – перечня информационных документов, который надо составлять в алфавитном (по авторам) порядке.

Проработка научно-технической информации требует творческого подхода, внимания и сосредоточенности. Важными факторами являются настойчивость и систематичность. Неотъемлемым требованием проработки информации является запись прочитанного, поэтому очень важно уметь правильно записать проработанный текст. Для этого применяют выписки, аннотации, конспекты.

Конспект необходимо составлять своими словами, что способствует лучшему усвоению информации.

Руководящей идеей всего анализа информации должно быть обоснование актуальности и перспективности предполагаемой темы исследования. В выводах освещается актуальность и новизна темы, ставятся цель и задачи исследования (обычно 3–5, редко до 8).

#### **4.4. Цель и задачи научного наследования**

Завершив анализ научно-технической информации по выбранной теме исследования, научный работник должен поставить цель, которую необходимо достигнуть в результате выполнения работы, и задачи, которые необходимо решить, чтобы достигнуть поставленной цели.

Цель формулируется в теме научно-исследовательской работы. Например, в диссертационной НИР «Методика расчетной оценки прочности стыковых паяных соединений трубопроводов» поставлена следующая цель: разработать методику расчетной оценки статиче-

ской прочности стыковых паяных соединений трубопроводов на базе изучения их напряженно-деформированного состояния с учетом факторов механической неоднородности и дефектов пайки.

Для достижения поставленной цели необходимо решать ряд задач. Обычно ставятся основные задачи. В указанном примере такими задачами могут быть:

1. Исследовать и выявить закономерности напряженно-деформированного состояния и механического поведения паяных стыковых соединений.

2. Разработать расчетные модели механического поведения паяных стыковых соединений на различных стадиях нагружения.

3. Разработать методику расчета прочности стыковых соединений трубопроводов и оценки критических размеров дефектов пайки.

4. Провести проверку расчетной методики путем экспериментальных исследований образцов и натуральных труб.

Для темы НИР «Исследование стойкости сталей против холодных трещин и разработка методики применительно к условиям отрасли» была поставлена следующая цель: провести исследования и разработать менее трудоемкую и материалоемкую методику испытаний применяемых в отрасли сталей на стойкость против холодных трещин.

И в соответствии с этой целью были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить патентный поиск по способам количественной оценки стойкости сталей против холодных трещин.

2. Провести сравнительные испытания различных сталей по 2...3 наиболее подходящим методикам.

3. Разработать новую методику испытания сталей на стойкость против холодных трещин.

4. Разработать и испытать опытную установку для испытания сталей по новой методике.

5. Выполнить испытания нескольких марок сталей по новой методике.

#### **4.5. Разработка методики теоретического и экспериментального исследования**

Лишь обоснованно выбранная, правильно составленная методика гарантирует надежность полученных при выполнении исследова-

ния результатов. Поэтому разработка методики исследования является важным этапом выполнения НИР. Методика должна предусматривать как теоретические, так и экспериментальные исследования.

Теоретические исследования выполняют, обычно, методом *моделирования* – изучения явлений с помощью моделей, Модель – искусственная система, отображающая основные свойства изучаемого объекта – оригинала. Различают физическое и математическое моделирование. При физическом моделировании физика явлений в объекте и модели и их математические зависимости одинаковы.

При *математическом моделировании* физика явлений может быть различной, а математические зависимости – одинаковы. Математическое моделирование особенно ценно при изучении сложных процессов.

При построении модели изучаемый объект и его свойства обычно упрощают. Однако надо иметь в виду, чем ближе модель к оригиналу, тем ближе полученные при теоретическом исследовании результаты к действительности.

Модели могут быть физические, математические и натурные.

*Физические модели* позволяют наглядно представить протекающие в природе процессы и исследовать влияние отдельных параметров на течение эти процессов. Математические модели позволяют количественно исследовать явления, трудно поддающиеся изучению на физических моделях.

*Натурные модели* представляю собой масштабно изменяемые объекты. Они позволяют наиболее полно исследовать процессы, протекающие в натуральных условиях.

Модель должна быть оптимальной и отображать существенные явления процесса. Излишняя детализация усложняет модель, затрудняя теоретические исследования, делая их громоздкими. Слишком упрощенная модель не обеспечивает требуемую точность, адекватность. Изучить и проанализировать явление наиболее полно можно лишь при условии, что его модель представлена описанием физической сущности и имеет математический вид. Применение электронных вычислительных машин (ЭВМ) при этом многократно ускоряет теоретические исследования.

Применение ЭВМ для моделирования оказывается полезным, если аналитическими методами невозможно установить количественную связь между входными и выходными параметрами, а получение эмпирической зависимости сопряжено с большими затратами.

Процесс моделирования для ЭВМ содержит 5 основных этапов:

- 1) выделение основных факторов и характеристик процесса и описание взаимосвязи между ними с помощью математического аппарата;
- 2) преобразование математического описания к виду, удобному для ввода в ЭВМ;
- 3) составление программы для ЭВМ;
- 4) анализ полученных результатов;
- 5) сопоставление этих результатов с опытными.

На ЭВМ все параметры моделируемого процесса представляются в виде чисел, а процесс моделирования сводится к преобразованию этих чисел по заданному программой алгоритму. Дискретный характер работы ЭВМ позволяет заменять дифференциальные уравнения на системы из нескольких алгебраических уравнений, решение которых находят с помощью арифметических операций.

**Экспериментальное исследование** – один из основных способов получения новых научных знаний. В его основе лежит эксперимент (научно-поставленный опыт) или наблюдение явления в точно учитываемых условиях. Эксперимент позволяет следить за ходом процесса, управлять им и воссоздавать его каждый раз при повторении этих условий. Основной целью эксперимента является проверка теоретических положений, а также и получение количественных данных для отбора значимых факторов при разработке модели. Эксперимент может быть количественным и качественным.

Различают эксперименты естественные и искусственные.

**Естественные** – характерны при изучении социальных явлений.

**Искусственные** – особенно часто применяются в технических науках.

Экспериментальные исследования делятся на лабораторные и производственные. **Лабораторные** опыты проводят с применением типовых приборов, специальных установок и стендов и т.п. Они позволяют наиболее полно и доброкачественно с требуемой повторяемостью изучить влияние одних характеристик при стабилизации других. Лабораторные опыты при достаточно полном научном обосновании эксперимента (математическое планирование) позволяют получить хорошую научную информацию с минимальными затратами. Однако лабораторные опыты не всегда полностью моделируют реальный ход процесса, поэтому возникает необходимость в проведе-

нии производственного эксперимента.

**Производственный** эксперимент позволяет изучить процесс в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов производственной среды. Вследствие, как правило, громоздкости опыта требуется особо тщательное продумывание и планирование эксперимента с обоснованием минимального потребного количества измерений. Производственные эксперименты иногда заменяют опытами на специальных полигонах.

Чтобы экспериментальное исследование дало максимум информации, необходимо разработать методологию эксперимента, исходя из цели и задач исследования.

**Методология эксперимента** – общая структура эксперимента, т.е. постановка и последовательность выполнения исследования. Она включает в себя следующие этапы:

- разработку плана-программы эксперимента;
- оценку измерений и выбор средств для проведения эксперимента;
- проведение эксперимента;
- обработку и анализ экспериментальных данных.

Так как в последнее время широко применяют математическую теорию эксперимента, то проведению эксперимента предшествует этап математического планирования эксперимента.

**План – программа эксперимента** включает наименование темы исследования, рабочую гипотезу, методику эксперимента, перечень необходимых материалов, приборов, установок, список исполнителей, календарный план и смету. Основу плана – программы составляет методика эксперимента. Методика включает в себя цель и задачи эксперимента; выбор варьируемых факторов; обоснование средств и потребного количества измерений; описание проведения эксперимента; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

**Выбор варьируемых факторов** – установление основных и второстепенных факторов (характеристик), влияющих на исследуемый процесс. Правильный отбор этих факторов определяет эффективность эксперимента. В отдельных случаях для правильного отбора необходим предварительный поисковый эксперимент. При малом числе переменных изучают последовательно их влияние при остальных неизменных величинах. Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа.

**Проведение эксперимента** – важнейший и наиболее трудоемкий этап. При его выполнении очень важна последовательность опытов. Чтобы исключить систематические ошибки, которые могут возникнуть при субъективном назначении последовательности опытов, используют метод рандомизации. Он заключается в том, что после последовательной нумерации предполагаемых опытов им присваивают номера из последовательности случайных чисел.

А затем эти числа располагают в порядке возрастания (убывания) и в этом порядке выполняют эксперименты.

Например, последовательность пяти опытов определяется так. Нумеруют опыты: 1, 2, 3, 4, 5. Затем из перечня случайных чисел (из любой его строки или столбца) выписывают пять последовательных чисел. Например, 86, 46, 52, 02, 29. Затем их последовательно присваивают опытам: 1 – 88, 2 – 46, 3 – 52, 4 – 02, 5 – 29. Располагая случайные числа в порядке возрастания (убывания), определяют последовательность выполнения опытов: 4 (02), 5 (29), 2 (40), 3 (52), 1 (88).

Обязательным требованием проведения эксперимента является ведение журнала, в котором фиксируют все характеристики исследуемого процесса и результаты наблюдений. Иногда, стремясь быстрее получить нужный результат, подтверждающий гипотезу, научный работник принимает во внимание только те данные, которые хорошо согласуются с теоретическими предположениями (расчетами). Неучет несогласующихся с этим данных часто ведет к тому, что в исследуемом процессе упускается очень важное свойство. А восстановить такие данные бывает трудно.

Одновременно с производством опытов исполнитель должен проводить предварительную обработку результатов и их анализ.

#### 4.6. Метрологическое обеспечение эксперимента

**Метрология** – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности.

**Измерение** – процесс нахождения какой-либо физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Это процесс сравнения величины чего-либо с известной величиной, принятой за единицу (эталон).

Измерения бывают **статическими**, когда измеряемая величина не изменяется во времени, и **динамическими**, когда измеряемая величина меняется.

Измерения разделяются на *прямые* к *косвенные*. При прямых – искомую величину устанавливают непосредственно из опыта, при косвенных – функционально от других величин, определенных прямыми измерениями (например, плотность тела через массу к объем).

Различают также абсолютные и относительные измерения. *Абсолютные* – это прямые измерения в единицах измеряемой величины. *Относительные* – измерения, представленные отношением измеряемой величины к одноименной величине, принимаемой за сравнимую. Различают три класса измерений: особо точные, высокоточные и технические.

Измерения являются основной составной частью любого эксперимента. От их тщательности зависят результаты эксперимента. Поэтому каждый экспериментатор должен знать закономерности измерительных процессов; уметь правильно измерить отучаемые величины; оценить погрешности при измерениях; правильно, с требуемой точностью вычислить значения величия и их потребное минимальное количество; определить наилучшие условия измерений, при которых ошибки будут наименьшими, и произвести общий анализ результатов измерений.

*Точность измерения* – это степень приближения измерения к действительному значению измеряемой величины.

*Погрешность измерения* – это алгебраическая разность между действительным значением измеряемой величины и полученным при измерении.

*Необходимое минимальное количество измерений* – это такое количество, которое обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности. Чтобы повысить точность и достоверность измерений, необходимо уменьшить погрешности. Погрешности при измерениях возникают вследствие ряда причин: несовершенства методов и средств измерений, недостаточно тщательного проведения опыта, влияния различных внешних факторов в процессе опыта, субъективных особенностей экспериментатора и др. Погрешности бывают систематическими и случайными.

*Систематические* – такие погрешности измерений, которые при повторных опытах остаются постоянными (или изменяются по известному закону). Если численные значения этих погрешностей известны, их можно учесть во время повторных измерений.

*Случайные* – возникают чисто случайно при повторном измере-

нии. Их нельзя учесть и исключить. Однако при многократно повторенных измерениях с помощью статистических методов наиболее отклоняющиеся случайные измерения (погрешности) можно исключить.

Систематические погрешности можно разделить на 5 групп:

- 1) инструментальные – из-за износа и люфтов, неточности градуировочной шкалы и др.;
- 2) неправильная установка средств измерения;
- 3) влияние внешней среды: магнитных или электрических полей, высоких или низких температур, влажности, вибрации и др.;
- 4) субъективные;
- 5) методические – обоснованные выбором метода измерений.

От систематических погрешностей 1, 2, 3 и 5 групп можно избавиться до начала эксперимента.

Согласно теории случайных ошибок:

1. При большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто;
2. Большие погрешности встречаются реже, чем малые;
3. При бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению всех результатов измерений;
4. Появление того или иного результата измерения как случайного события описывается нормальным законом распределения, если число измерений больше 30, или распределением Стьюдента, если количество измерений меньше 30.
5. Считается, что при числе измерений больше 30 среднее значение данной совокупности измерений достаточно приближается к истинному.

Теория случайных ошибок позволяет решить 2 задачи: оценить точность и надежность измерений при данном количестве замеров; определить минимальное количество замеров, гарантирующее заданную точность измерения.

Точность измерений:

$$m = \frac{\sigma_0}{\bar{x}}. \quad (4.1)$$

где  $\sigma_0$  – средняя ошибка измерений;

$\bar{x}$  – среднее значение некоторого числа измерений;

Минимальное количество измерений:



$$N_{min} = \frac{K_b^2 t^2}{m^2}. \quad (4.2)$$

$K_b$  – коэффициент вариации, равный  $K_b = \frac{\sigma}{x}$ ;

$t$  – гарантийный коэффициент ( $0 \leq t \leq 4$ );

$\sigma$  – дисперсия (рассеяние-отклонение от среднего), определяется по

уравнению 
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x)^2}{n-1}}.$$

$n$  – число измерений.

Задаваясь гарантийным коэффициентом определяют доверительный интервал по формуле:

$$\mu = \pm t\sigma \quad (4.3)$$

и доверительную вероятность  $\Phi$  по таблицам. При изменении  $t$  от 0 до 4  $\Phi$  изменяется от 0 до 0,9999.

Оценка измерений с помощью  $\sigma$  и  $\sigma_0$  по уравнениям (4.1), (4.2) справедлива при  $n > 30$ .

При  $n < 30$  применяют метод Стьюдента (псевдоним английского математика В. Госсета).

Доверительный интервал:

$$\mu_{cm} = \alpha_{cm}\sigma_0, \quad (4.4)$$

где  $\alpha_{cm}$  – коэффициент Стьюдента. Определяется по таблицам в зависимости от числа опытов и доверительной вероятности.

## 4.7. Средства измерений

**Средства измерений** – совокупность технических средств, используемых при измерениях и имеющих нормированные метрологические характеристики. Они являются неотъемлемой частью эксперимента и дают нам необходимую информацию. К средствам измерения относят измерительные инструменты, приборы и установки. Измерительные средства делят на образцовые и технические.

**Образцовые** – являются эталонами и предназначены для проверки технических (рабочих) средств. Они не обязательно точнее рабочих, но должны иметь большую стабильность и надежность в воспроизведении измерения, Образцовые средства не применяют для рабочих измерений.

По характеру участия в процессе измерения все средства можно

разделить на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы и измерительные (измерительно-информационные) системы.

**Мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера. Меры бывают однозначные, многозначные и наборы. Однозначные меры – гири, размерные плитки, конденсаторы постоянной емкости и др. Многозначные – конденсатор переменной емкости, проволочный реохорд и др. Наборы состоят из однозначные мер.

**Измерительный преобразователь** – средство измерений, предназначенное для выборки сигнала измерительной информации в форме удобной для передачи, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. К измерительным преобразователям относятся датчики (термопары, тензорезисторы и др.), усилители.

**Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

**Измерительно-информационные системы** – совокупность технических средств в блочно-модульном исполнении, объединенных общим алгоритмом функционирования, обладающие нормированными метрологическими характеристиками и предназначенные для получения измерительной информации непосредственно от объекта, ее преобразования, передачи, хранения, обработки и выдачи в виде, удобном для восприятия оператором или ввода в систему автоматического управления.

**По способу отсчета значения измеряемой величины** приборы делятся на показывающие и регистрирующие. **Показывающие** – аналоговые (шкала и стрелка) и цифровые. **Регистрирующие** – самопишущие и печатные. Самопишущие выдают график изменений, печатные – последовательность цифр на ленте.

Измерительные приборы характеризуются величиной погрешности и точности, стабильности измерений и чувствительностью.

**Погрешность** – одна из важных характеристик прибора. Различают абсолютную и относительную погрешность.

$$\text{Абсолютная} - b = \pm(x_u - x_g), \quad (4.5)$$

$$\text{относительная} - \alpha = \pm \frac{x_u - x_g}{x_g} \cdot 100 \%, \quad (4.6)$$

где  $x_u$  – показание прибора (номинальное значение измеряемой величины);  $x_g$  – действительное значение измеряемой величины, полученное более точным методом.

**Точность** – основная характеристика прибора. Характеризуется суммарной (основной) погрешностью. В зависимости от допустимой погрешности приборы делят на классы. Часто класс точности обозначают допусковой погрешностью в процентах (1, 2 и т. п.).

**Стабильность** – свойство отсчетного устройства прибора обеспечивать постоянство показаний одной и той же величины. Стабильность определяется вариацией показания ( $\omega = 0,5$ ). Средства измерений подвергаются поверке через каждые 1 – 2 года.

#### 4.8. Планирование эксперимента

Чтобы производить эксперимент в наиболее короткий срок и с наименьшими затратами, получая при этом достоверную информацию, необходимо планирование. Этого можно достигнуть, следуя при планировании определенным правилам, учитывающим вероятностный характер результатов измерений и наличие внешних помех, воздействующих на изучаемый объект.

При планировании все факторы, определяющие процесс, изменяются одновременно по специальным правилам, а результаты эксперимента представляется в виде математической модели, обладающей некоторыми статистическими свойствами.

Выделяют следующие этапы планирования:

- сбор и анализ априорной информации;
- выбор входных и выходных переменных, области экспериментирования (изменения переменных);
- выбор математической модели, с помощью которой будут представляться экспериментальные данные;
- выбор критерия оптимальности и плана эксперимента;
- определение метода анализа данных;
- проведение эксперимента;
- проверка статистических предпосылок для полученных и ментальных данных;
- обработка результатов;
- рекомендации.

В процессе сбора и анализа априорной информации устанавливают и анализируют известные данные об изучаемом объекте: какие

факторы и как влияют на его состояние, возможные пределы изменения этих факторов, их взаимосвязь и др.

Основное требование при выборе **входных факторов** (переменных) – возможность установления нужного значения (уровня) этого фактора и поддержание его в течение всего опыта. Факторы могут быть количественными и качественными. Уровням количественных факторов соответствует числовая шкала (температура, давление и т.д.).

**Выходные переменные** – реакции (отклики) на воздействие входных параметров. Могут быть экономическими (расход энергии, прибыль и т.п.), технологическими (стабильность горения дуги, надежность и т.п.) и т.д.

Выбор модели зависит от наших знаний об объекте, целей исследования и математического аппарата. Очень часто исследовательские задачи сводятся к задаче получения статистической модели, которая представляет собой математическую зависимость между выходными и входными параметрами изучаемого объекта. Теоретической основой решения задачи статистического моделирования является предположение о возможности описания протекающего процесса системой дифференциальных уравнений. Но если из-за слабой изученности и сложности процесса это осуществить невозможно, то предполагаемое решение этих уравнений можно разложить в ряд Тейлора по переменным параметрам. Наиболее часто используют многочлен первой степени, являющийся самой простой формой статистической модели объекта, а именно:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m, \quad (4.7)$$

где  $y$  – выходной параметр;  $x_1, x_2 \dots x_m$  – входные параметры;  $b_0, b_1, b_m$  – коэффициенты многочлена, определяемые на основе экспериментальных данных статистическим анализом.

Обработка экспериментальных данных сводятся к отыскиванию коэффициентов многочлена по известным из опытов данным  $x_i$  и  $y_i$ .

Для этого надо составить  $m + 1$  уравнение, и следовательно, надо провести не менее  $m + 1$  опыт, чтобы в каждом из них значения входных параметров  $x_i$  составляли свою, отличную от других опытов комбинацию. Тогда и выходные параметры и  $y_i$  будут во многих опытах различными.

Чтобы уменьшить общий объем вычислений и упростить сам

эксперимент, нужно каждый входной параметр варьировать только на двух уровнях: нижнем (-1) и верхнем (+1). В этом случае для нахождения коэффициентов регрессии, например при трех входных параметрах, необходимо провести лишь четыре опыта по плану (матрице планирования), приведённому в таблице 4.1.

Таблица 4.1

№ опыта	План			Результат эксперимента
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
1	-1	-1	+1	$y_1$
2	+1	-1	-1	$y_2$
3	-1	+1	-1	$y_3$
4	+1	+1	+1	$y_4$

Коэффициенты регрессии при использовании такого плана можно рассчитать по формуле:

$$b_i = \frac{1}{n\Delta x_i} \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j, \quad (4.8)$$

где  $i$  – номер входного параметра и соответствующего ему коэффициента регрессии;  $j$  – номер опыта;  $n$  – число опытов;  $x_{ij}$  – уровень параметра  $x_i$  в  $j$ -м опыте (+1 или -1);  $\Delta x_i$  – отклонение параметра  $x_i$  от исходного значений (основного уровня) – интервал варьирования.

Коэффициент  $b_0$  определяют по формуле

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j - \sum_{i=1}^m b_i x_i, \quad (4.9)$$

где  $m$  – число входных параметров.

Для выявления возможного взаимодействия входных параметров необходимо осуществить полный факторный эксперимент по плану (для трех факторов), приведенному в таблице 4.2.

Таблица 4.2

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_1$
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$y_2$
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$y_3$
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$y_4$
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$y_5$
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$y_6$
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$y_7$
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$y_8$

В этом случае регрессии будут иметь вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3. \quad (4.10)$$

Соответствие формы уравнения регрессии исследуемому объекту проверяют по дисперсии адекватности:

$$\sigma_{ag}^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (y_{jm} - y_{jon}), \quad (4.11)$$

где  $y_{jm}$  и  $y_{jon}$  – значения выходного параметра, рассчитанные по статистической модели и полученные при дополнительных опыта;  $k$  – число дополнительных шагов.

Опыты по определению дисперсии адекватности следует проводить при различных значениях входных параметров.

Для проверки адекватности модели часто используют  $F$  – критерий Фишера

$$F = \frac{\sigma_{ag}^2}{\sigma_y^2}, \quad (4.12)$$

где

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (y_j - \bar{y}), \quad (4.13)$$

$y_j$  – значение выходной величины  $j$ -го опыта;  $\bar{y}$  – среднее значение выходной величины (параметра).

Определенное по формуле значение  $F$  сравнивают с табличным  $F_T$ . Если  $F = F_T$ , то с доверительной вероятностью модель можно

считать адекватной изучаемому процессу. Если линейная модель неадекватна, то следует перейти к модели более высокой степени – уравнению регрессии второго порядка.

Часто задачей исследования является оптимизация процесса, т.е. определение таких значений входных параметров, для которых выходной параметр имеет максимальное или минимальное значение. В решении такой задачи можно выделить два подхода. Первый – создание теории процесса (математической модели), с помощью которой определяют оптимальные условия. Второй – эмпирический. Существует и промежуточный подход, когда вид исходной модели определяется теоретическими представлениями, а значения параметров рассчитывают по экспериментальным данным, полученным при изучении объекта.

Эмпирический подход в последние десятилетия используется все шире, что объясняется ростом сложности изучаемых объектов, недостатком времени на их детальное изучение и появлением новых эмпирических способов оптимизации и др. К числу таких новых способов принадлежат методы Бокса – Уилсона и симплекс-планирования. Бокс и Уилсон предложили метод крутого восхождения – движение по градиенту отдельными шагами до тех пор, пока не будет достигнут оптимум.

#### **4.9. Обработка результатов эксперимента**

Одновременно с производством опытов (измерений) исполнитель должен проводить предварительную, а затем окончательную обработку результатов измерений и их анализ. Это позволяет контролировать и корректировать эксперимент, улучшать методику и др.

В начале результаты изменений сводят в таблицы, тщательно изучают сомнительные данные, устанавливают причины их резкого отличия от статистического ряда наблюдений, от средних величин.

При анализе величин необходимо установить точность, с которой нужно производить обработку опытных данных. Точность обработки не должна быть выше точности измерений. Иногда за цифрами трудно четко представить физическую сущность. Поэтому при обработке и анализе результатов требуется особо тщательное их сопоставление, которое позволит более четко представить физическую сущность процесса.

Рассмотрим некоторые методы обработки и анализа результатов

эксперимента.

#### 4.9.1. Графическое изображение результатов

При обработке результатов измерений широко используют методы графического изображения, которое дает более наглядное представление о результатах эксперимента, чем табличные данные. Поэтому сведенные в таблицы данные обрабатывают графическими методами. Для графического изображения используют обычно прямоугольную систему координат.

Прежде чем строить график, необходимо знать ход (течение) исследуемого процесса, что может быть известно, в частности, из теоретических исследований. Экспериментальные точки на графике необходимо соединять плавной линией, чтобы она по возможности ближе проходила ко всем экспериментальным точкам. Иногда исследуются явления, для которых в определенном интервале наблюдается скачкообразное изменение одной из координат, объясняемое сущностью физико-химического процесса. Если при построении графика появляются точки (одна – две), которые резко удаляются от плавной кривой, то необходимо проанализировать причину этого отклонения (грубая ошибка измерения или естественный ход процесса), а также повторить измерения в диапазоне резкого отклонения точки. Повторные измерения подтвердят или отвергнут (в случае грубой ошибки) наличие указанного отклонения. Если измеряемая величина  $\mathbf{B}$  является функцией двух переменных параметров  $(x, y)$ , то в одних координатах можно построить несколько графиков, разбив диапазон изменения одного из параметров на несколько отрезков  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ . При графическом изображении результатов экспериментов большую роль играет выбор системы координат (координатной сетке). Координатные сетки бывают равномерными и неравномерными.

Неравномерные сетки: полулогарифмические, вероятностные и др. применяют для более наглядного представления (изображения) изучаемой зависимости (спрямление криволинейных зависимостей и пр.).

При построении графиков (особенно расчетных) большое значение имеет выбор масштаба. Масштаб по координатным осям обычно применяют различный, что позволяет избежать слишком узких (высоких) или широких (низких) графиков. Графики с минимумом или максимумом необходимо особенно тщательно вычерчивать в области экстремума, поэтому здесь экспериментальные точки должны быть



чаще.

Часто для систематических расчетов вместо сложных теоретических или эмпирических формул используют номограммы, которые строят, применяя равномерные или неравномерные координатные сетки. Последние предпочтительнее для спрямления графиков криволинейных функций.

#### **4.9.2. Подбор эмпирических формул (аппроксимация)**

По полученным во время опытов экспериментальным данным можно подобрать эмпирические формулы, к которым предъявляется два основных требования: они должны быть по возможности простыми и достаточно точными в пределах изменения аргумента.

Процесс подбора эмпирических формул состоит из двух этапов: построения графика по экспериментальным точкам и вычисления параметров (коэффициентов) для выбранных эмпирических формул. Подбор эмпирических формул начинают с самых простых выражений, начиная с линейной зависимости типа  $y = a + bx$ . Такого типа зависимости можно использовать и для явно выраженной плавной кривой, если применить при этом метод выравнивания.

Например, вместо эмпирической формулы  $y = ax^b$  (после замены  $X = \lg x$  и  $Y = \lg y$ ) получим  $Y = \lg a + bX$  – линейную зависимость на логарифмической сетке.

#### **4.9.3. Операции с приближенными числами**

При обработке результатов физического и вычислительного экспериментов всегда используются числа, полученные с определенной точностью. Поэтому необходимо знать правила обращения с приближенными числами.

При округлении числа отбрасывается часть разрядов значащих цифр по следующим правилам:

1) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше пяти, то оставшиеся цифры не изменяются ( $0,5132 \approx 0,51$ );

2) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна пяти, причем все последующие цифры больше нуля, то цифра младшего из сохраняемых разрядов увеличивается на единицу ( $0,5172 \approx 0,52$ ;  $0,5152 \approx 0,52$ );

3) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов равна пяти, а все следующие за ней цифры равны нулю или неизвестны, то цифра

младшего из сохраняемых разрядов не изменяется, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная ( $0,525000 \approx 0,52$ ;  $0,515000 \approx 0,52$ );

4) округление числа необходимо производить так, чтобы разряд последней значащей цифры соответствовал разряду последней значащей цифры его погрешности ( $74,348 \pm 0,02\text{кг} \approx 74,35\text{кг}$ ). При этом цифра 3 является верной значащей цифрой, а тира 5 – сомнительной, так как цифра этого разряда соизмерима с абсолютной погрешностью измеренной величины.

Значащими называют все цифры и записи числа, кроме нулей перед последующей отличающейся от нуля цифрой ( $0,5709$  – две значащих цифры;  $57,09$  – две значащие цифры;  $0,005709$  – четыре значащих цифры).

Правила при математических операциях с приближенными числами:

1) при сложении (или вычитании) приближенных в сумме (или разности) сохраняется столько десятичных знаков, сколько их имеется в том числе, где десятичных знаков меньше ( $12,73 + 3,631 = 16,3681 \approx 16,37$ );

2) в произведении (или частном) приближенных чисел сохраняется столько значащих цифр, сколько их имеется в том из множителей (чисел), где значащих цифр меньше ( $0,4267 \times 0,73 \approx 0,43 \times 0,73 \approx 0,31$  или  $49,631 : 0,525 \approx 49,6 : 0,525 \approx 94,5$ ).

## 5. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Так как экспериментальное исследование является одним из основных способов получения новых научных знаний, то постановке эксперимента уделяется большое внимание.

В разделе 4.5 подробно рассмотрена методология экспериментального исследования вообще. В настоящем разделе рассмотрено несколько конкретных примеров применения указанной методологии при исследованиях в сварочной технике, а также вопросы метрологического обеспечения и обработка эксперимента.

### 5.1. Изучение переноса расплавленного электродного металла в сварочной дуге

*Перенос* – процесс перемещения (перехода) расплавленного электродного металла с конца электрода в сварочную ванну. Существует несколько методик изучения этого процесса:

- осциллографирование изменения тока и напряжения сварочной дуги;
- скоростная киносъёмка дугового пространства;
- разделение капель по фракциям после расплавления электрода над быстровращающимся диском (валом) из другого материала.

*Осциллографирование* – изменения сварочного тока и напряжения можно производить, используя электронный или светолучевой (шлейфовый) осциллограф. Выбор типа осциллографа определяется задачей, которая ставится перед осциллографированием.

Если, например, необходимо записать изменение тока и напряжения в течение относительно длительного промежутка времени (обычно более секунды), то используют светолучевой осциллограф, записывающий осциллограмму изменения тока или напряжения на светочувствительной плёнке или бумаге, которая после эксперимента подвергается обработке.

Электронный осциллограф применяют обычно для записи (фиксации) на его экране изменения тока или напряжения за относительно небольшой промежуток времени (обычно менее секунды). Хотя электронный осциллограф дает возможность фиксировать на экране изменение какой-либо величины и в течение большого промежутка времени (несколько секунд). Широкое применение в настоящее время получили запоминающие осциллографы. Они сохраняют изобра-

жение сигнала на экране длительное время, а поэтому удобны для исследования особенно редко повторяющихся сигналов, которые можно сфотографировать.

Чтобы получить осциллограммы сварочного тока и напряжения дуги, необходимо подключить осциллограф к сварочной цепи так, как это показано на рис. 5.1.

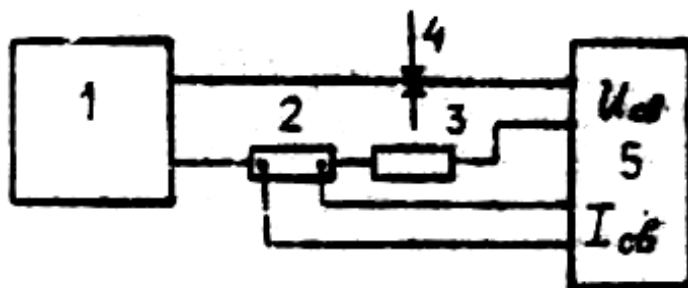


Рис. 5.1. Схема подключения осциллографа к сварочной цепи:  
 1 – источник питания сварочной дуги; 2 – шунт;  
 3 – свариваемое изделие; 4 – электрод; 5 – осциллограф

После подключения приступают к настройке осциллографа на рабочий режим. Для этого устанавливают положение нулевой линии на экране, направления отклонения сигналов, масштабы сварочного тока (в А/мм) и напряжения (в В/мм), а также скорость развертки сигнала (в см/с). Закончив настройку осциллографа, делают пробную запись осциллограммы, и только после этого приступают к экспериментам по программе исследования.

Полученные во время экспериментов осциллограммы анализируют. При анализе и обработке осциллограмм можно установить характер переноса электродного металла, а также следующие характеристики процесса переноса (см. рис. 5.2):

- время существования капли ( $\tau_k$  или  $\tau_{ц}$ );
- частоту перехода капель ( $= -$  или  $= -$ );
- массу капли (при известной производительности расплавления электрода  $g_p$  масса капли  $m = g_p \cdot \tau_k$ , или  $m = g_p \cdot \tau_{ц}$ ).

Кроме того, по осциллограммам можно установить следующие электрические параметры процесса сварки: минимальное  $I_{\min}$ , максимальное  $I_{\max}$  и среднее (сварочное)  $I_{св}$  значения тока, а также напряжение дуги  $U_g$  (или  $U_{св}$ ). Для процесса сварки с короткими замыканиями:

$$U_{св} \approx U_g = \frac{\tau_g}{\tau_c}, \quad (5.1)$$

$$I_{св} \approx \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}. \quad (5.2)$$

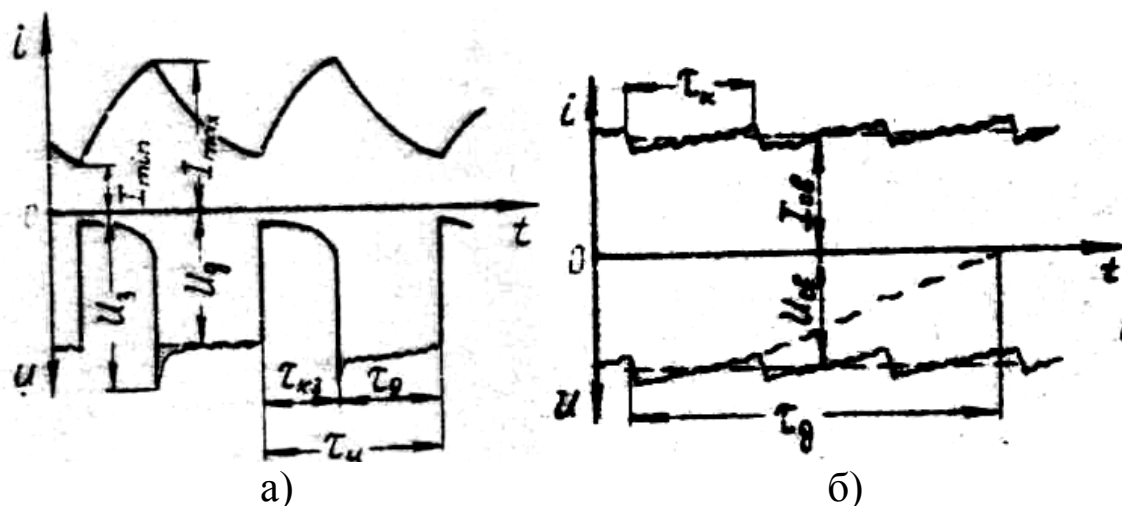


Рис. 5.2. Осциллограммы изменения тока и напряжения при сварке с коротким замыканием (а) и без замыкания (б) дугового промежутка

Как видим, осцилографирование даёт возможность получить большую информацию о процессе сварки вообще и о процессе перекоса электродного металла в частности.

**Скоростная киносъёмка** дугового (межэлектродного) пространства производится обычно скоростной кинокамерой при специальном освещении дугового пространства мощным источником света (дуговым прожектором или ксеноновой ламой). Схема скоростной киносъёмки приведена на рис. 5.3. Частота кадров скоростной киносъёмки в большинстве случаев составляет от 500 до 1500 в секунду. Следовательно, процесс образования, отрыва и перехода каждой электродной капли фиксируется на нескольких (10 и более) кадрах, что позволяет получить при скоростной киносъёмке обширную информацию. Характерные кадры скоростной киносъёмки приведены на рис. 5.4. При анализе и обработке результатов скоростной киносъёмки можно установить характер переноса электродного металла в сварочной дуге, а также время существования отдельных капель и частоту их перехода с электрода в сварочную ванну. Кроме того, можно определить массу капли (если известна производительность расплавления электрода), а также установить характер разбрызгивания электродного металла (взрыв электродной капли, выброс капли за

пределы сварочной ванны и др.).

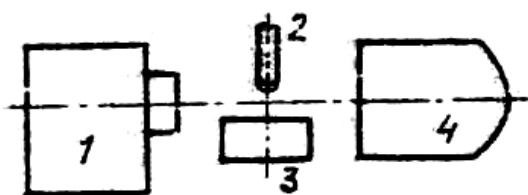


Рис. 5.3. Схема скоростной киносъемки: 1 – кинокамера; 2 – электрод; 3 – образец; 4 – прожектор

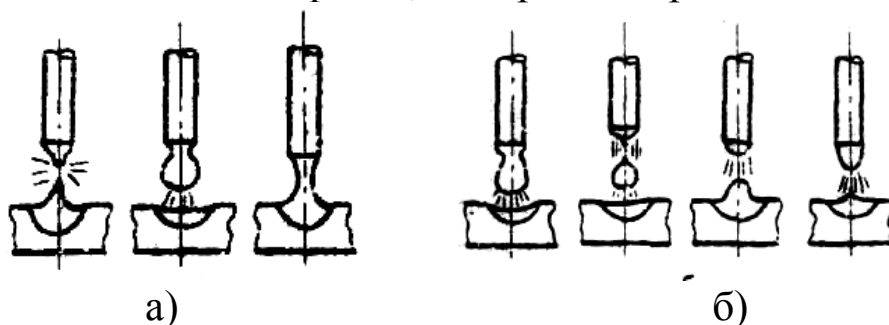


Рис. 5.4. Характерные кинокадры переноса электродного металла с короткими замыканиями (а) и без замыканий (б) дугового промежутка

**Разделение капель по фракциям** после расплавления электрода над быстровращающимся диском (валом) из другого материала также относительно широко используется при изучении переноса расплавленного металла. При этом производится расплавление электрода над диском (валом), вращающимся с такой скоростью, при которой каждая последующая капля падает на диск на некотором расстоянии относительно предыдущей.

Полученные таким образом капли собирают и после отделения шлака с помощью сит разделяют на фракции по размерам (массе). Например, при просеивании каплей через сита с отверстиями 1 мм, 2 мм и 3 мм капли разделяются на четыре фракции: первая – диаметром до 1 мм, вторая – диаметром от 1 до 2 мм, третья – диаметром от 2 до 3 мм и четвертая – диаметром более 3 мм. При разделении каплей на фракции необходимо помнить, что чем на большее число фракций будут разделены капли, тем более точная кривая распределения будет получена. Обычно кривые распределения строят в координатах «средняя масса капли  $i$ -й фракции – % массы каплей  $i$ -й фракции к их общей массе» (рис. 5.5).

При анализе полученных зависимостей можно сделать вывод о преимущественном размере (массе) каплей при переносе электродно-

го металла в том или ином случае. Например, из приведённых на рис. 5.5. кривых видно, что при условиях сварки в опыте 1 электродный металл переносится более крупными каплями, чем в опыте 2.

В заключение нужно отметить, что при осциллографировании и скоростной киносъёмке можно получить значительно больше информации, чем при разделении капель на фракции.

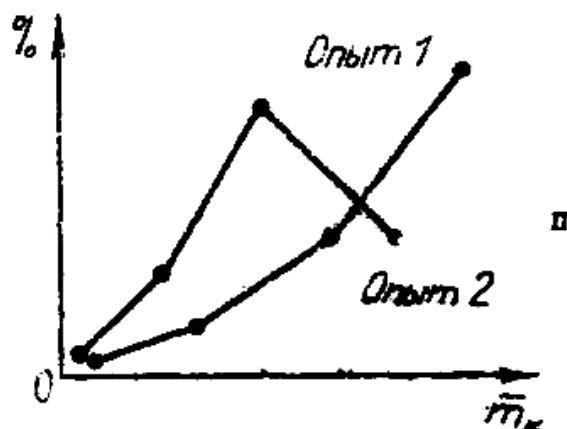


Рис. 5.5. Распределение капель по фракциям

## 5.2. Измерение температур нагрева и скоростей охлаждения металла при сварке

Процесс сварки сопровождается вводом тепла в свариваемое изделие и последующим его распространением, в результате которого происходит сначала нагрев, а затем и охлаждение металла изделия. Температура нагрева и скорость охлаждения влияют на структуру свариваемого металла и его свойства, а также на напряжённое состояние сварного соединения, а, следовательно, и на его служебные свойства. Поэтому знание термического цикла сварки (рис. 5.6) очень важно, ибо при его анализе можно определить максимальную температуру  $T_{\max}$  нагрева металла, время  $\tau_0$  нахождения его выше определённой температуры  $T_0$ , а также скорости нагрева и охлаждения: при заданной температуре или в диапазоне температур.

Для определения указанных величин и построения термического цикла сварки необходимо измерение температуры во времени, то есть динамическое измерение указанной величины. Точность такого измерения зависит от методики и оборудования, применяемых во время эксперимента. Очень часто для записи термического цикла используют термопару в качестве измерительного устройства и осциллограф в качестве регистрирующего устройства.

Термопара является генераторным датчиком, преобразующим неэлектрическую величину (температуру нагрева) в электрическую (электродвижущую силу). Её изготавливают сваркой двух тонких (обычно менее одного миллиметра диаметром) проволок из разнородных металлов или сплавов. При нагреве места сварки (горячего спая) возникает термоЭДС, величина которой пропорциональна температуре нагрева спая. Если свободные концы термопары подключить к милливольтметру, то его стрелка будет отклоняться тем больше, чем выше температура. Термопару можно также подключить к осциллографу (или другому самопишущему прибору) и записать термический цикл.

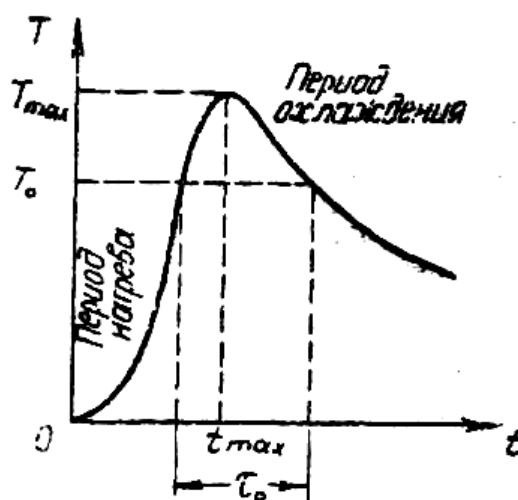


Рис. 5.6. Термический цикл нагрева и охлаждения металла при сварке

Точность измерений температуры в заданной точке зависит от многих факторов, в том числе и от метода закрепления термопары на свариваемой детали. Лучшим способом закрепления считают приварку горячего спая термопары к изделию с помощью конденсаторной сварки.

Кроме описанного метода, температуру металла можно измерить и другими методами, в частности, бесконтактным — с помощью оптических пирометров. Применяют яркостные, цветовые и радиационные пирометры. Яркостные пирометры (рис. 5.7) определяют температуру тела путём сравнения его свечения со свечением эталонной лампы.



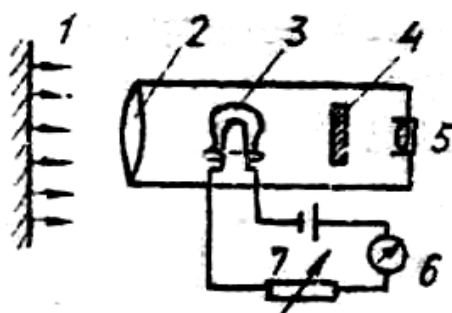


Рис. 5.7. Схема визуального яркостного пирометра: 1 – источник излучения; 2 – телескоп параметра; 3 – эталонная лампа накаливания; 4 – фильтр; 5 – объектив; 6 – миллиамперметр; 7 – реостат

Во время измерения температуры тела изменяют температуру нагрева нити накала лампы 3 до тех пор, пока яркость её свечения будет равна яркости свечения нагретого тела 1. После этого по показанию миллиамперметра определяют температуру. Цветовые пирометры определяют температуру по цветовому спектру излучения. Оба рассмотренных вида пирометров имеют небольшую чувствительность (диапазон измерения 1000 – 10000 К), но высокую точность.

Наиболее чувствительны (но наименее точны) радиационные пирометры, регистрирующие полное излучение тела.

Объектив радиационного пирометра фокусирует наблюдаемое излучение не приёмник (термостолбик), сигнал которого регистрируется прибором, прокалиброванным по излучению абсолютно черного тела. Общим недостатком пирометрического измерения температуры является его инерционность. Поэтому пирометрами можно измерять температуру тела, находящегося в тепловом равновесии.

### 5.3. Определение напряжений и деформаций в сварном соединении

Прогресс сварочного производства, неразрывно связанный с общим прогрессом техники, требует развития и совершенствования методов расчёта на прочность сварных конструкций. Правильная оценка прочности сварных соединений необходима для обеспечения требуемой работоспособности в различных условиях эксплуатации и в то же время является важным резервом снижения веса и повышения экономичности изготовления сварных конструкций.

Следует заметить, что все методы расчёта прочности базируются на знании особенностей напряженно-деформированного состояния сварных соединений, возникающего при том или ином виде их на-

гружения и использовании критериев прочности. Многообразие геометрических форм и характерных особенностей, присущих сварным соединениям, чрезмерно усложняет получение замкнутых аналитических решений, позволяющих описать распределение напряжений. Поэтому на практике для исследования распределения напряжений в сварных соединениях при их упругом и пластическом нагружении широко используют экспериментальные методы.

Из экспериментальных методов в настоящее время наиболее полно разработаны и применяются следующие методы: тензорезисторный, поляризационно-оптический и метод муаровых полос.

### 5.3.1. Тензорезисторный метод определения деформаций и напряжений

Этим методом можно определить компоненты тензора упруго-пластических деформаций на свободных поверхностях деталей реальных конструкций в широком диапазоне физических условий их работы: температура от  $-269$  до  $+450^{\circ}\text{C}$ , под водой и в агрессивных средах, в вакууме и при высоких давлениях, при частотах до  $0,5$  МГц. Компоненты тензора напряжений определяют при упругом деформировании по уравнениям закона Гука, а при пластическом деформировании до  $10\%$  – по уравнениям теории малых упругопластических деформаций.

На свободной поверхности детали реализуется плоское напряженное состояние (рис. 5.8), в котором отсутствуют нормальные напряжения, перпендикулярные к поверхности, и касательные напряжения на поверхности. Для изотропного материала закон Гука в этом случае описывается уравнениями:

$$\sigma_x = \frac{E(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y)}{1 - \mu^2}; \quad (5.3)$$

$$\sigma_y = \frac{E(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x)}{1 - \mu^2}; \quad (5.4)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \quad (5.5)$$

где  $\sigma, \tau$  – нормальные и касательные напряжения;  $\varepsilon, \gamma$  – линейные и угловые деформации;  $E, G = \frac{E}{2}(1 + \mu), \mu$  – модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона.

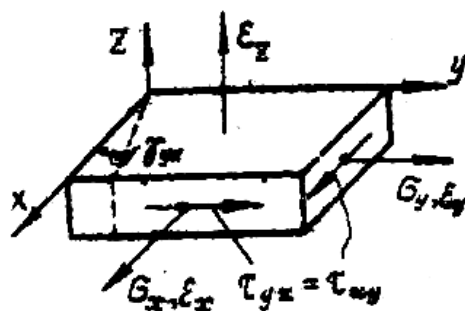


Рис. 5.8. Напряженно-деформированное состояние элемента свободной поверхности:  $\sigma$ ,  $\tau$  – нормальные и касательные напряжения;  $\varepsilon$ ,  $\gamma$  – линейные и угловые деформации.

Измерение деформаций основано на применении проводникового тензорезистора, чувствительный элемент которого в виде плоской спирали из проволоки или фольги (рис. 5.9) наклеен на подложку из бумаги или плёнки, с помощью которой его приклеивают к исследуемой детали. В общем случае для определения компонентов тензора деформаций в контрольной точке детали наклеивают три или четыре тензорезистора, как показано на рис. 5.10.

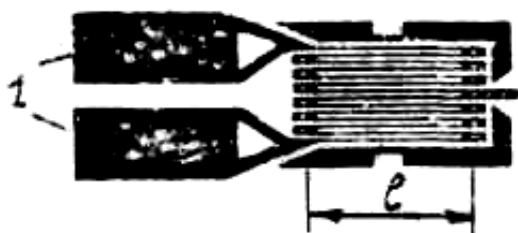


Рис. 5.9. Чувствительный элемент тензорезистора (увеличено в 5 раз):  $l$  – база тензорезистора;  $l$  – зона подпайки выводных проводников



Рис. 5.10. Схема расположения тензорезисторов  $R_{x,y,45,135}$  для определения деформаций и напряжений

Работа тензорезистора, как первичного преобразователя деформации в электрический сигнал, основана на тензорезистивном эффекте (относительное изменение сопротивления проводника пропорционально его деформации).

Измерения производят с помощью тензорезисторной информационно – измерительной системы, состоящей из текзорезисторов, тензорезисторного преобразователя и регистрирующего прибора. Тензорезисторный преобразователь представляет собой мостовую схему включения одного или нескольких тензорезисторов, на выходе

которой возникает электрическое напряжение, пропорциональное изменению сопротивления тензорезисторов при их деформации. Это напряжение после соответствующего усиления измеряют регистрирующим прибором.

Основной метрологической, характеристикой средства измерения является его статическая характеристика преобразования, устанавливающая зависимость сигнала на выходе средства измерения (выходного сигнала) от постоянного сигнала на его входе (входного сигнала). Возможность измерения переменного входного сигнала оценивают динамической погрешностью, которую определяют на основании динамической характеристики средства измерения.

### 5.3.1.1. Статическая характеристика тензорезистора.

#### Определение деформаций и напряжений

Сигналом тензорезистора называют относительное изменение его сопротивления, вызванное деформацией.

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R},$$

где  $R$  – сопротивление установленного (наклеенного) тензорезистора;  $\Delta R$  – изменение сопротивления при деформировании.

В общем случае на тензорезистор, находящейся на поверхности детали, действуют две ортогональные линейные деформации  $\varepsilon_x$  и  $\varepsilon_y$  (см. рис. 5.8). Экспериментально установлено, что статическую характеристику тензорезистора, продольная (главная) ось которого совпадает с направлением ОХ, можно описать линейным уравнением

$$\alpha_x = k_1 \varepsilon_x + k_2 \varepsilon_y,$$

в котором  $k_1$  и  $k_2$  – соответственно продольная и поперечная чувствительности тензорезистора.

Эти параметры характеризуют работу тензорезистора в условиях воздействия только одной из деформаций:  $k_1$  – при  $\varepsilon_y = 0$ , а  $k_2$  – при  $\varepsilon_x = 0$ .

Введя параметр  $q = \frac{k_2}{k_1}$ , который называют относительной поперечной чувствительностью, характеристику тензорезистора описывают уравнением

$$\alpha_x = k_1 (\varepsilon_x + q \varepsilon_y). \quad (5.6)$$

Обычно для тензорезисторов с длиной активной части чувствительного элемента (базой) более 5 мм величина  $q \leq 0,01$  и ее можно

не учитывать. Для тензорезисторов с базой менее 5 мм относительная поперечная чувствительность может возрасти до 0,05 и в ряде случаев её необходимо учитывать. Чувствительность тензорезистора является комплексным параметром, отражающим тензорезистивные свойства материала чувствительного элемента, а также способность связующего (клея) и подложки передавать ему деформацию детали.

Для изготовления чувствительных элементов проволоочных и фольговых тензорезисторов применяют медно-никелевые сплавы типа констант. Чувствительность тензорезисторов из отожженного константана сохраняет постоянное значение  $k_1 \approx 2$  при деформациях 10%, т.е. практически до разрушения чувствительного элемента.

**Определение деформаций.** На основании уравнения (5.6) компоненты тензора деформаций можно определить по формулам:

$$\varepsilon_x = \frac{\alpha_x - q\alpha_y}{k_1(1 - q^2)} \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\alpha_y - q\alpha_x}{k_1(1 - q^2)} \quad (5.8)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\alpha_{45} - \alpha_{135}}{k_1(1 - q)} \quad (5.9)$$

где  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_{45}, \alpha_{135}$  – сигналы соответствующих тензорезисторов (рис. 5.10).

Если тензорезистор не имеет поперечной чувствительности ( $q < 0,01$ ), то линейную деформацию можно определить по результатам измерений одним тензорезистором, а угловую деформацию рассчитать по формуле

$$\gamma_{xy} = \frac{2\alpha_{45} - (\alpha_x + \alpha_y)}{k_1}. \quad (5.10)$$

**Определение напряжений.** На основании закона Гука компоненты тензора напряжений можно определить по формулам:

$$\sigma_x = D(\alpha_x + \nu\alpha_y), \quad (5.11)$$

$$\sigma_y = D(\alpha_y + \nu\alpha_x), \quad (5.12)$$

$$\tau_{xy} = H(\alpha_{45} - \alpha_{135}), \quad (5.13)$$

где

$$D = \frac{E(1 - \mu q)}{k_1(1 - \mu^2)}, \quad \nu = \frac{(\mu - q)}{(1 - \mu q)}, \quad H = \frac{G}{k_1(1 - q)}.$$

Формулы для определения деформаций и напряжений имеют одинаковую структуру

$$\sigma_i = D_i a_i(\alpha_{i,j}), \quad (5.14)$$

следовательно, задача сводится, к измерению (определению) линейной функции от сигналов соответствующих тензорезисторов.

### 5.3.1.2. Тензорезисторный преобразователь и способы измерения деформаций и напряжений

Выходной сигнал тензорезистора в виде относительного изменения его сопротивления является входным сигналом тензорезисторного преобразователя, на выходе которого создается сигнал электрического напряжения. В преобразователе применяют мостовую схему включения тензорезисторов (рис. 5.11). В зависимости от конкретных задач измерений один или несколько тензорезисторов можно включать в одну, две или четыре активные ветви моста.

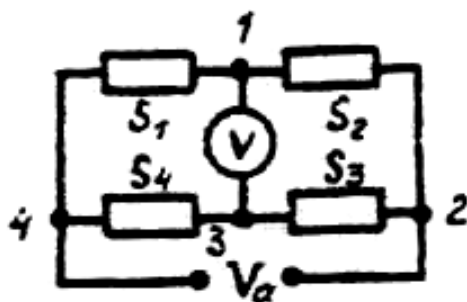


Рис. 5.11. Мостовая схема включения тензорезисторов:  
 $V_\alpha$  – напряжение питания;  $V$  – напряжение на выходе моста

Перед измерениями производят балансировку моста путём реализации условия

$$S_1 S_3 = S_2 S_4, \quad (5.15)$$

где  $S_i$  – сопротивление соответствующей ветви моста.

Балансировку контролируют по отсутствию напряжения на выходе моста. Сигнал на выходе мостовой схемы равен алгебраической сумме сигналов ветвей моста.

$$\beta = \left( \frac{\Delta S_1}{S_1} + \frac{\Delta S_3}{S_3} \right) - \left( \frac{\Delta S_2}{S_2} + \frac{\Delta S_4}{S_4} \right), \quad (5.16)$$

где  $\Delta S_i$  – изменение сопротивления ветви моста, вызванное изменением сопротивлений включенных в нее тензорезисторов.

На рис. 5.12 показана обобщенная схема включения тензорези-

стора в активную ветвь моста, применяемая при тензорезисторных измерениях. Сигнал такой ветви описывается уравнением

$$\frac{\Delta S}{S} = A(\alpha_x + B\alpha_y), \quad (5.17)$$

где  $A$  и  $B$  – параметры, зависящие от сопротивлений тензорезисторов  $R_x$ ,  $R_y$  и шунтирующего резистора  $R_{ш}$ .

При условии  $R_x = R_y = R$  параметр  $B$  можно определить по формуле:

$$B = \left(\frac{R_{ш}}{R + R_{ш}}\right)^2. \quad (5.18)$$

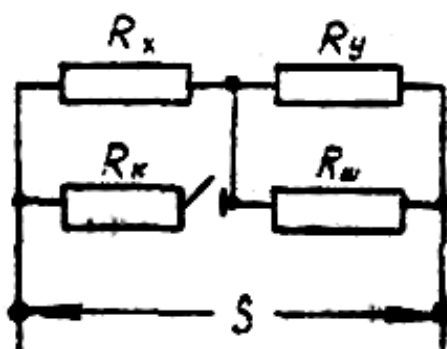


Рис. 5.12. Обобщённая схема включения тензорезисторов  $R_x$ ,  $R_y$  в активную ветвь моста:  $R_{ш}$  и  $R_k$  – шунтирующий и калибрующий резисторы

Изменяя сопротивление  $R_{ш}$  в пределах  $[0; \infty]$  можно регулировать параметр  $B$  в пределах  $[0; 1]$ , а параметр  $A$  в пределах  $[1; 0,5]$ .

Уравнения (5.16) и (5.17) показывают, что мостовая схема обеспечивает выполнение с сигналами тензорезисторов операций сложения, вычитания и умножения на положительное число, не превышающее единицы.

Эти свойства мостовой схемы используют для аналогового моделирования различных физических уравнений, в частности, уравнений (5.11 – 5.13).

При тензорезисторных измерениях выполняют условие равенства сопротивлений и чувствительностей тензорезисторов, включаемых в одну мостовую схему. Это достигается применением тензорезисторов одной партии.

Условие моделирования заключается в задании параметру  $B$  в

уравнении (5.17) значения в соответствии со структурой моделируемого уравнения (5.14).

Например, при моделировании уравнения (5.11) принимаем  $B = \nu$ . Для выполнения этого условия на основании (5.18) сопротивление шунтирующего резистора должно быть равным  $R_{ш} = R\sqrt{\nu}/(1-\nu)$ . При моделировании уравнения (5.13) принимаем  $R_y = 0$ ,  $R_{ш} = \infty$ , а тензорезисторы  $R_{45}$  и  $R_{135}$  включаем в смежные ветви мостовой схемы (рис. 5.11):  $R_{45}$  – в  $S_1$  и  $R_{135}$  – в  $S_2$ .

Если условие моделирования выполнено, то сигнал мостовой схемы на основании (5.16) и (5.17) можно представить в виде

$$\beta = A\alpha, \quad (5.19)$$

где  $\alpha = a_i(\alpha_{i,j})$  – моделируемая функция сигналов тензорезисторов из уравнения (5.14).

Для преобразования сигнала мостовой схемы  $\beta$  в электрическое напряжение  $U$  её запитывают стабилизированным напряжением  $U_\alpha$  (рис. 5.11).

Уравнение этого преобразования

$$U = \frac{U_\alpha A \alpha}{Q_o}. \quad (5.20)$$

При ориентировочных расчетах для симметричного моста ( $S_2 = S_1$  и  $S_4 = S_3$ ) можно принять  $Q_o = 2 + \frac{S_1}{S_3} + \frac{S_3}{S_1}$ . Тензорезисторная измерительная система является линейной и её статическую характеристику можно представить уравнением

$$n = k_c \alpha, \quad (5.21)$$

где  $n$  – показание регистрирующего прибора;  $k_c$  – коэффициент передачи измерительной системы

$$k_c = \frac{U_\alpha A K_n}{Q_o}.$$

Здесь  $k_n$  – коэффициент передачи регистрирующего прибора, включая усилитель и промежуточные преобразователи между тензорезисторным преобразователем и регистрирующим прибором.

Для исключения влияния величины  $k_c$  на результаты измерений производят калибровку измерительной системы путём подачи на вход системы, калибрующего сигнала  $\alpha_k$  и регистрации соответствующего



показания прибора.

$$n_k = k_c \alpha_k. \quad (5.22)$$

На основании (5.21) получаем расчетную формулу

$$\alpha = \frac{\alpha_k n}{n_k}. \quad (5.23)$$

Наиболее простой и точной является калибровка путём подключения параллельно тензорезистору калибрующего резистора с известным сопротивлением  $R_k$ , как показано на рис. 5.12. Возникающий при этом калибрующий сигнал рассчитывают по формуле

$$\alpha_k = \frac{-R_x}{R_x + R_k}. \quad (5.24)$$

Знак **минус** перед  $R_x$  в уравнении (5.24) показывает, что при калибровке сопротивление тензорезистора уменьшается, то есть моделируется деформация сжатия.

### 5.3.1.3. Систематические погрешности тензорезисторной измерительной системы

Эти погрешности связаны с тем, что фактические условия измерений не полностью отражены в моделях, которые описываются статическими уравнениями преобразования элементов измерительной системы.

Относительную погрешность определяют по формуле  $\delta = \frac{\alpha}{\bar{\alpha}} - 1$ , в которой  $\alpha$  и  $\bar{\alpha}$  – соответственно измеренное и действительное значение определяемой величины.

При тензорезисторных измерениях можно выделить четыре основных группы систематических погрешностей: геометрическая погрешность, обусловленная базой тензорезистора; погрешность от влияния температуры; погрешность преобразования мостовой схемы и динамическая погрешность электрической цепи измерительной системы.

Геометрическая погрешность тензорезистора обусловлена его геометрической характеристикой преобразования, которая устанавливает зависимость деформации тензорезистора от деформации детали.

В соответствии со схемой рис. 5.13 эту зависимость можно описать уравнением

$$\varepsilon_x = \frac{1}{l} \int_{x_*-0,5l}^{x_*+0,5l} \varepsilon_x(x) dx, \quad (5.25)$$

где  $\varepsilon_x(x)$  – закон изменения деформации детали в направлении, совпадающем с продольной (главной) осью тензорезистора;  $x_*$  – координата центра тензорезистора;  $l$  – база тензорезистора;  $\varepsilon_x = \Delta l / l$  – деформация тензорезистора;  $\Delta l$  – изменение базы, вызванное деформацией детали.

На основании уравнения (5.6) сигнал тензорезистора пропорционален его деформации  $\varepsilon_x$ , которую отождествляют и деформацией детали  $\varepsilon_*$  в точке, совпадающей с центром тензорезистора.

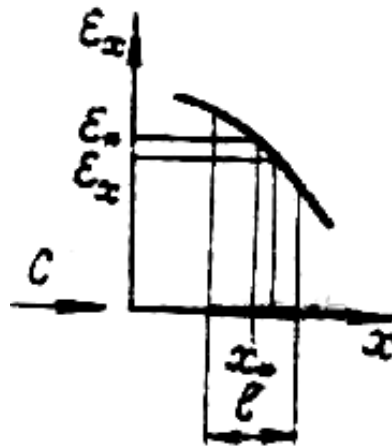


Рис. 5.13. Схема формирования геометрической погрешности преобразования деформации детали в деформацию тензорезистора

При этом возникает систематическая геометрическая погрешность, которую необходимо учитывать при выборе базы тензорезистора.

$$\delta_e = \frac{1}{l\varepsilon_*} \int_{x_*-0,5l}^{x_*+0,5l} \varepsilon_x(x) dx - 1. \quad (5.26)$$

Для определения погрешности необходимо установить вид функции  $\varepsilon_x(x)$ . Это можно сделать из теоретических соображений или на основании исследований аналогичных конструкций.

Если в пределах базы тензорезистора деформация детали изменяется по линейному закону, то геометрической погрешности нет.

При статических и относительно медленных динамических нагрузках влияние базы тензорезистора на результат измерений нужно учитывать только в зонах концентрации деформаций.

При высокочастотных и ударных нагрузках существенная нелинейность распределения деформаций возникает вне зон их концентрации и связана с волновыми процессами формирования деформированного состояния детали. В этом случае для оценки геометрической погрешности закон изменения деформаций по координате и времени можно принять синусоидальным:

$$\varepsilon_x(x, t) = \varepsilon_m \sin \frac{2\pi(x - ct)}{CT}, \quad (5.27)$$

где  $l$  – текущее время;  $T$  – время колебаний;  $C$  – скорость распространения волны деформаций.

Уравнение (5.26) преобразуется к виду

$$\delta_e = \frac{\sin(\pi l/CT)}{\pi l/CT} - 1. \quad (5.28)$$

Формула (5.28) позволяет оценить динамические свойства тензорезистора, обусловленные его базой.

Скорость распространения волны упругих деформаций зависит от типа детали (стержень, балка, пластина), вида нагрузки (продольная сила, изгибающий или крутящий момент), физико-механических характеристик материала (плотность, упругие постоянные) и от относительной толщины детали.

$$\eta = \frac{h}{C_0 T}, \quad (5.29)$$

где  $h$  – диаметр стержня или толщина балки, пластины;  $C_0$  – «стержневая скорость», определяемая по формуле:

$$C_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (5.30)$$

где  $\rho$  – плотность материала.

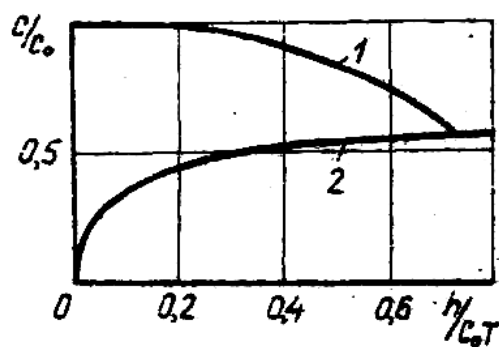


Рис. 5.14. Зависимость скорости  $C$  продольной волны (1) и волны изгиба (2) в балках и пластинах от относительной толщины

На рис. 5.14 приведены типичные зависимости скоростей волн от относительной толщины для стержней и балок при действии продольной силы и изгибающего момента. Для определения геометрической погрешности эти зависимости можно применить к деталям другой формы (стержни некруглого поперечного сечения, трубы, пластины) из материалов с коэффициентом Пуассона 0,25...0,35.

Волна кручения (сдвига), вызванная действием крутящего момента, распространяется в деталях любой формы и размеров со скоростью

$$C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (5.31)$$

В качестве примера оценим влияние базы тензорезистора на погрешность измерений деформаций на поверхности стальной пластины ( $E = 2,1 \cdot 10^5$ , МПа  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>) толщиной  $h = 5$  мм, нагруженной изгибающим моментом с частотой колебаний  $f = 50$  кГц.

По формуле (5.30)  $C_o = 5170$  м/с. Для периода колебаний  $T = 1/f = 2 \cdot 10^{-5}$  с по формуле (6.29) определяем относительную толщину  $n = 0,05$ , а по графику 2 на рис. 6.14 находим скорость волны изгиба, которая при  $C = 0,27 C_o$  равна 1400 м/с. Результаты определения погрешности по формуле (5.28) в зависимости от базы тензорезистора приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

$l$ , мм	1	3	5	10
$\delta_l$ , %	0,2	1,8	4,8	18

Для измерений с погрешностью менее 2% в этих условиях необходимо применять тензорезисторы с базой не более 3 мм.

Результаты специальных экспериментов показали, что чувствительность тензорезистора практически не зависит от скорости деформирования. Как элемент электрической цепи тензорезистор обладает чисто активным сопротивлением при частотах от 0,5 МГц, если сопротивление изоляции между тензорезистором и деталью не менее 500 МОм. Эта величина практически реализуется для большинства тензорезисторов.

Следовательно, частотный диапазон применения тензорезистора ограничен только геометрической погрешностью  $\delta_l$ , рассчитанной по

формуле (5.28).

Погрешность от влияния температуры в основном связана с температурными деформациями детали в зоне наклейки тензорезистора. Эту погрешность можно исключить двумя способами. Первый основан на применении специальных термокомпенсированных тензорезисторов. Второй – на свойства мостовой схемы вычитать сигналы смежных ветвей. В ветвь моста, смежную с активной (рис. 5.11), включают тензорезистор, аналогичный рабочему, который наклеен на модель детали, расположенную в одинаковых с исследуемой деталью физических условиях, но не воспринимающую нагрузок. Точность температурной компенсации проверяют при изменении температуры модели и детали, без нагружения последней.

Погрешность преобразования мостовой схемы связана с применением линеаризованного уравнения (5.20), при выводе которого пренебрегали величинами  $\Delta S_i / S_i$  в знаменателе и их квадратами в числителе.

Если тензорезисторы включены в одну или две противоположные ветви мостовой схемы, то погрешность мостовой схемы можно оценить по формуле

$$\delta_u = 0,5\alpha_k \left( \frac{n}{n_k} - 1 \right). \quad (5.32)$$

Если тензорезисторы включены в смежные ветви, то – по формуле

$$\delta_u = 0,5\alpha_k \left[ \left( \frac{n}{n_k} \cdot \frac{\sigma^N}{\sigma^M} - 1 \right) + \frac{n_o}{n_k} \left( \frac{\sigma^N}{\sigma^M} - 1 \right) \right], \quad (5.33)$$

Динамическую погрешность электрической цепи измерительной системы можно оценить на основании переходной характеристики, представляющей собой выходной сигнал системы  $\Phi(t)$  при входном сигнале в виде единичной функции времени

$$F(t) = 0 \text{ при } t < 0,$$

$$F(t) = 1 \text{ при } t \geq 0.$$

Тензорезисторные измерительные системы обычно предназначены для регистрации сигналов с постоянной составляющей, а их динамические характеристики по высоким частотам ограничены в основном емкостными связями. Для таких систем переходную характеристику можно аппроксимировать формулой  $\Phi(t) = 1 - e^{-t/e}$ , а динамическую характеристику представить уравнением

$$n = \int_0^t \frac{\alpha dt}{\alpha \tau} \Phi(t - \tau) d\tau = -\frac{1}{\theta e^{\tau/\theta}} \int_0^t \alpha(\tau) e^{\tau/\theta} d\tau, \quad (5.34)$$

где  $\tau$  – переменная интегрирования, соответствующая произвольному моменту времени в интервале  $0 \leq \tau \leq t$ ;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\theta$  – постоянная времени, ее можно рассчитать по формуле  $\theta = 0,46t_*$ , где  $t_*$  – время нарастания фронта переходной характеристики от уровня 0,1 до уровня 0,9 от установившегося значения выходного сигнала в соответствии со схемой рис. 5.15.

Для синусоидального входного сигнала, описываемого уравнением (5.27), на основании (5.24) динамическую погрешность можно определить по формуле

$$\delta_\phi = \frac{\left(\frac{1,57\theta}{t_\phi}\right) \left[ e^{-t/\theta} - \cos\left(\frac{1,57\theta}{t_\phi}\right) \right] + \sin\left(\frac{1,57\theta}{t_\phi}\right)}{\left[ 1 + \left(\frac{1,57\theta}{t_\phi}\right)^2 \right] \sin\left(\frac{1,57\theta}{t_\phi}\right)} - 1, \quad (5.35)$$

где  $t_\phi$  – длительность фронта сигнала переходного процесса динамического деформирования при ударных нагрузках или четверть периода установившихся колебаний.

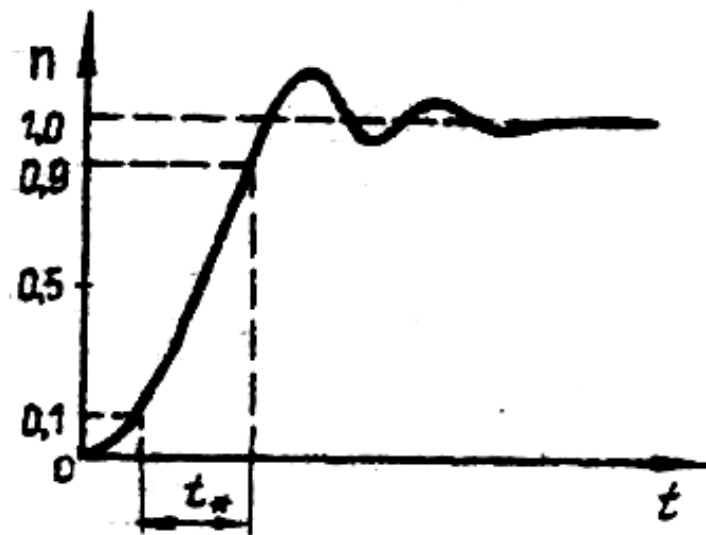


Рис. 5.15. Переходная характеристика

Если ограничить динамическую погрешность величиной  $\delta_\phi = 1\%$ , то при измерении амплитуды деформации  $\varepsilon_m$  необходимо, чтобы постоянная времени системы была  $\theta \leq 0,07t_\phi$ , а для измерения деформации на фронте импульса на уровне  $\varepsilon = 0,5\varepsilon_m$  необ-

ходимо иметь  $\theta \leq 0,001t_\varphi$ .

При применении тензорезисторов с базой менее 5 мм часто не учитывают их поперечную чувствительность и вместо формулы (5.7) применяют упрощенную, формулу

$$\varepsilon_x = \frac{\alpha_x}{k_1}, \quad (5.36)$$

При этом возникает систематическая погрешность определения деформацией

$$\delta\varepsilon_x(q) = q^{\alpha_y/\alpha_x}, \quad (5.37)$$

Например, для фольговых тензорезисторов некоторых конструкций при базе  $l = 3$  мм поперечная чувствительность  $q = 0,02$ . Если не учесть эту величину, то при измерениях в условиях, когда  $\alpha_y/\alpha_x \approx \varepsilon_y/\varepsilon_x = 5$ , возникают погрешности  $\delta\varepsilon_x(q) = 10\%$ ,  $\delta\varepsilon_y(q) = 0,4\%$ ,  $\delta\varepsilon_{xy}(q) = q = 2\%$ .

Изготовители тензорезисторов не приводят значений поперечной чувствительности. Для фольговых тензорезисторов Киевского объединения «Вега» типа КФ4 и КФ5 с базами  $l \geq 1$  мм можно считать  $q = 0$ . При применении других типов тензорезисторов с базами  $l \leq 5$  мм необходимо определять их поперечную чувствительность по формуле

$$q = \frac{\mu + n}{1 + \mu n}, \quad (5.38)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона калибровочной балки;  $n$  – величина, рассчитываемая по формуле

$$n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\alpha_y}{\alpha_x} \right)_i, \quad (5.39)$$

где  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$  – сигналы тензорезисторов, наклеенных вдоль и поперек калибровочной балки в «одной» точке;  $N = 5 \dots 10$  – число пар тензорезисторов данной партии.

### 5.3.2. Поляризационно-оптический метод определения напряжений и деформаций

Поляризационно-оптический метод наряду с высокой чувствительностью и точностью измерения в отличие от тензорезисторного метода даёт поле напряжений по всей исследуемой поверхности. Все

это привело к тому, что поляризационно-оптический метод нашел широкое применение при решении задач по распределению напряжений в деталях машин, в том числе и сварных соединений.

Как будет показано ниже, распределение напряжений в пластине в условиях плоской деформации или обобщенного плоского напряженного состояния не зависит от упругих постоянных материалов. Поэтому, если удастся найти распределение напряжений для пластинки (детали) из какого-либо изотропного материала, то эти результаты могут быть приняты для пластинки из другого изотропного материала, при условии что в обоих случаях величина, расположение внешних сил и размеры пластинок будут одинаковыми.

### 5.3.2.1. Некоторые сведения из теории упругости

В общем случае напряжённо-деформированное состояние точки твёрдого тела характеризуется в теории упругости шестью компонентами напряжений и шестью компонентами деформаций. Многие задачи теории упругости сводятся к решению плоской задачи. Плоская задача, в свою очередь, включает два типа задач – плоское напряжённое состояние и плоскую деформацию и характеризуется тремя независимыми компонентами напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  и деформаций  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\gamma_{xy}$ .

Плоское напряжённое состояние существует в тонких пластинках. В этом случае  $\delta_z = 0$  (ось  $z$  направлена перпендикулярно плоскости пластинки), а

$$\varepsilon_x = -\frac{\mu}{E}(\sigma_x - \sigma_y), \quad (5.40)$$

и закон Гука записывается в виде:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{2G}\tau_{xy}. \quad (5.41)$$

Плоская деформация характеризуется отсутствием продольной деформации в направлении одной из координатных осей (например, оси  $z$ )  $\varepsilon_z = 0$ . В этом случае

$$\sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y), \quad (5.42)$$

и закон Гука запишется в виде:

$$\varepsilon_x = \frac{1-\mu^2}{E} \left( \sigma_x - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_y \right),$$



$$\varepsilon_y = \frac{1-\mu^2}{E} \left( \sigma_y - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_x \right), \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{2G} \tau_{xy}. \quad (5.43)$$

Примерами плоской деформации могут служить протяжённые стыковые, нахлесточные и тавровые соединения. При этом удаленные от краев соединения сечения можно рассматривать, как работающие в условиях плоской деформации.

На рис. 5.16 представлены компоненты напряжений для плоской задачи в прямоугольном и треугольном элементах. За положительное нормальное напряжение принимают растяжение, за отрицательное – сжатие. Полные нормальные и касательные напряжения по наклонной площадке определяются из выражений:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha, \\ \tau_n &= \frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha - \tau_{xy} \cos 2\alpha. \end{aligned} \quad (5.44)$$

где  $\alpha$  – угол между нормалью к площадке и осью (см. рис. 5.16).

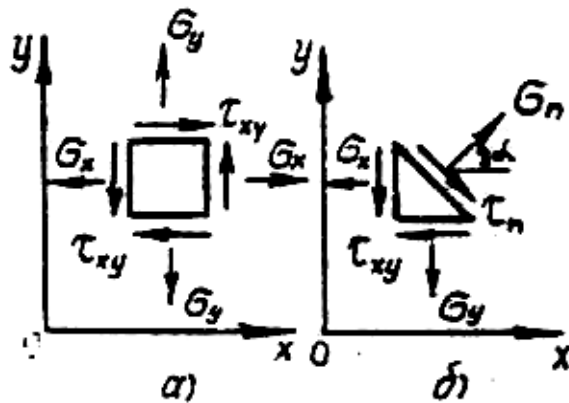


Рис. 5.16. Компоненты напряжений для плоской задачи:  
а) в прямоугольном элементе; б) в треугольном элементе

В каждой точке плоского тела существует две взаимно-перпендикулярные площадки, где касательные напряжения равны нулю, а нормальные принимают максимальное значение  $\sigma_1$ , по одной площадке и минимальное  $\sigma_2$  – по другой.

Главные нормальные направления выражаются через компоненты напряжений в виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{aligned} \right\} = \frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}, \quad (5.45)$$

Направления главных напряжений относительно осей координат

могут быть найдены из условия

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}, \quad (5.46)$$

где  $\beta$  – угол между положительным направлением оси  $x$  и направлением  $\sigma_1$ , отсчитываемый против часовой стрелки ( $0 = \beta \leq 180^\circ$ ). В каждой точке тела на площадках, расположенных под углом  $45^\circ$  к направлению  $\sigma_1$ , действуют максимальные касательные напряжения, равные полуразности главных:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (5.47)$$

Решение плоской задачи теории упругости сводится к определению трёх составляющих напряжений –  $\sigma_x, \sigma_y, \gamma_{xy}$ .

### **5.3.2.2. Физическая сущность поляризационно-оптического метода и явления, происходящие в полярископе**

В поляризационно-оптическом методе напряженное состояние деталей исследуют на прозрачных моделях из оптически чувствительных материалов. Материалы эти без значительных погрешностей можно считать изотропными, кроме того, они в довольно широких пределах следуют закону Гука. Поэтому результаты опытов на моделях из оптически активных материалов могут быть перенесены на случай деталей машин, элементов сооружений любой формы и размера изготовленных из таких распространённых строительных материалов, как сталь.

Поляризационно-оптический метод основан на свойстве большинства прозрачных материалов (стекло, целлулоид, отвержденные эпоксидные смолы и др.) приобретать под действием напряжений способность двойного лучепреломления. Материалы, обладающие таким свойством, называют оптически чувствительными.

Изотропные прозрачные материалы становятся при нагружении оптически анизотропными и начинают вести себя как двояко преломляющая кристаллическая пластинка. Величина двойного лучепреломления, связанная с величиной напряжений, может быть измерена оптическим методом при просвечивании модели поляризованным светом. Поляризованный свет создается в специальном приборе – полярископе. На рис. 5.17 представлена схема прохождения поляризованного монохроматического луча света с длиной волны  $\lambda$  в поляриско-

пе через нагруженную модель.

В любой точке модели и там, где проходят луч света, напряженное состояние определено величиной и направлением двух взаимно перпендикулярных главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , действующих в плоскости модели.

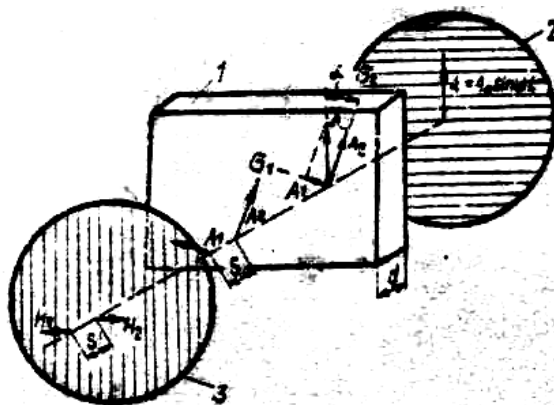


Рис. 5.17. Разложение линейно-поляризованного луча света:  
1 – модель; 2 – поляризатор; 3 – анализатор

Наклон главных напряжений к вертикали или горизонтали равен  $\alpha$ . В напряжённой модели распространение света подчиняется закону Брюстара, согласно которому вектор света  $A$  разделяется по двум перпендикулярным направлениям на составляющие  $A_1$  и  $A_2$ . Эти составляющие проходят напряжённую модель с различными скоростями, пропорциональными  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  соответственно. Вследствие различия скоростей векторы  $A_1$  и  $A_2$  после прохождения через модель получают разность хода  $S$  (рис. 5.17).

В дальнейшем обе линейно поляризованные волны  $A_1$  и  $A_2$  проходят через анализатор. Анализатор установлен в перекрест поляризатору и поэтому пропускает только горизонтальные составляющие  $H_1$  и  $H_2$ . Конечный оптический эффект создается равнодействующей обеих волн  $H_1$  и  $H_2$ . При помощи параллелограмма, на котором показано разложение вектора  $A$  на составляющие  $A_1$  и  $A_2$ , можно установить, что амплитуды  $H_1$  и  $H_2$  равны. Пропустит или нет анализатор свет, зависит от сдвига фаз  $\sigma = s/\lambda$ , т.е. от разности главных напряжений  $(\sigma_1 - \sigma_2)$ . Если в рассматриваемой точке модели  $(\sigma_1 - \sigma_2) = 0$ , то и  $\sigma = 0$ ,  $H_1$  и  $H_2$  будет в противофазе, и эта точка модели будет тёмной. Представим теперь, что  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  выросла до  $\sigma = 1/2$ . Тогда сдвиг фаз составит половину длины волны. Происхо-

дит сложение колебаний – и получаем максимум яркости.

При дальнейшем возрастании  $\sigma > 1/2$  яркость убывает, пока при  $\sigma = 1$  обе волны снова окажутся в противофазе и взаимно погасятся. Последующее увеличение  $\sigma$  приводит к повторению этого процесса, так что при целом  $\delta$  всегда происходит полное затемнение, а в промежутках – увеличение яркости. Так как эта зависимость в равной мере действительна для любых точек модели, то все точки, в которых  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  имеет одинаковую величину, соединяются тёмными линиями. Эти линии называют изохромами. В зависимости от того, равна ли  $\sigma = 0,1,2$  и т.д., говорят об изохромах 0,1,2 и т.д. порядков.

Основной закон упругости запишется в виде:

$$n\lambda = cd(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (5.48)$$

или

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{n\lambda}{cd}, \quad (5.49)$$

Обозначив  $\frac{\lambda}{cd}$  через  $\sigma_0$ , получим:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = n\sigma_0, \quad (5.50)$$

где  $\sigma_0$  - постоянная, зависящая от материала, толщины модели, длины волны света, применяемого в поляризационной установке.

Следовательно, для того чтобы определить значение  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  в той или иной точке модели по картине изохром, необходимо знать порядковый номер полосы и цену полосы материала  $\sigma_0^{(1,0)}$ , которая определяется на тарировочном образце.

Для правильного определения величины  $(\delta_1 - \delta_2)$  необходимо знать начало отчета порядка полос. Наиболее распространены следующие два метода определения порядка полос:

1. Метод наблюдения за образованием картины полос в процессе нагружения (с регистрацией полосы первого порядка).

2. В моделях, имеющих свободно выступающие углы, начало отсчёта следует вести от них (так как углы, как правило, не напряжены и порядок полос  $p$  в них равен нулю).

Кроме изохром, в напряжённой модели в линейно поляризованном свете появляются ещё и другие тёмные линии. Так, если одно из направлений главных напряжений совпадает с направлением поляризации, то есть  $\alpha = 0$  (см. рис. 5.17), то при разложении вектора света по главным направлениям одна из составляющих становится равной

нулю. Поэтому луч света проходит модель, не разлагаясь, и анализатор поглощает его полностью. Все точки модели, в которых главные напряжения имеют одинаковые направления, соединены темными линиями. Эти линии называют изоклинами.

Таким образом, при просвечивании модели монохроматическим светом на экране полярископа будут видны две серии темных линий – изохромы и изоклины. Без известного навыка эти линии трудно отличить друг от друга. Для уверенного отличия изоклин и изохром можно воспользоваться тем, что при синхронном повороте поляризатора картина изохром не меняется, а положение изоклины меняется. Для получения картины только изохром без изоклин применяют круговые полярископы. В круговом полярископе после поляризатора (перед моделью) и перед анализатором (после модели) помещают две пластинки из слюды, называемые пластинками в четверть волны ( $\lambda/4$ ). Это такая кристаллическая пластинка, которая создаёт сдвиг фаз  $\delta = 1/2$ . Изоклины в плоском полярископе устраняют двойной экспозицией при фотографировании картины изохром. Для этого вторую экспозицию производят при синхронном повороте поляризатора и анализатора на 45 град. относительно первой экспозиции.

### **5.3.2.3. Получение оптически активного материала и изготовление моделей сварных соединений**

Материал моделей для исследования напряжений должен удовлетворять следующим требованиям: достаточная оптическая активность, прозрачность, изотропность, однородность, отсутствие начального оптического эффекта, линейная зависимость между напряжениями и деформациями и порядковым номером полосы, отсутствие заметной ползучести, возможность нетрудоемкой механической обработки при изготовлении моделей. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяет оптически активные материалы на основе эпоксидных смол горячего отверждения. Наиболее широко используется следящий состав оптически активного материала:

- эпоксидная смола ЭД6-М-100 весовых частей,
- малеиновый ангидрид – 35 весовых частей.

Разогретые до 75 – 80°C эпоксидную смолу и малеиновый ангидрид тщательно перемешивают и заливают в плоские формы из зеркального отекла. Стенки предварительно обрабатывают парами диметилдихлорсилана. Такая обработка устраняет схватывание (адгезию) эпоксидного компаунда со стеклянными стенками. При выдер-

живании в течении 1-2 суток и температуре выше 70°C происходит полимеризация (отверждение) жидкого компаунда.

Из полученных таким образом пластин вырезают плоские модели сварных соединений. В зависимости от геометрии модели вырезку осуществляют на фрезерных станках или лобзиком с последующей доработкой напильником.

#### **5.3.2.4. Масштабы моделирования**

При изготовлении модели необходимо соблюдать ряд критериев подобия. Геометрические параметры модели выбирают исходя из принятого геометрического масштаба моделирования.

Подобие внешнего нагружения моделей может быть осуществлено для различного типа нагрузок через масштаб силового подобия. При действии на модель одного из типов нагрузок, например, сосредоточенных, силовой масштаб может быть выбран произвольно.

#### **5.3.2.5. Решение задач по исследованию напряженного состояния сварных соединений поляризационно-оптическим методом**

Процедура исследования напряженного состояния деталей поляризационно-оптическим методом выглядит следующим образом. На листе оптически активного материала иглой от циркуля наносят контур модели исследуемой детали (сварного соединения). Затем лобзиком с помощью специальных приспособлений или на фрезерном станке по намеченному контуру вырезают модель. При вырезке моделей необходимо следить за тем, чтобы не поцарапать её поверхность. Затем в специальном нагрузочном устройстве модель нагружают растяжением, изгибом и т.д. в соответствии со схемой нагружения реального сварного соединения. Возникающую при нагружении модели картину изохром фотографируют на фотопленку. В качестве источника монохроматического света используют натриевые лампы.

Изоклины, как правило, снимают на моделях из оргстекла в белом свете. При просвечивании белым поляризованным светом такой модели, вследствие слабой активности оргстекла, изохромы отсутствуют и четко видны только изоклины. Размер моделей из оптически активного материала и оргстекла и схема нагружения одинаковые.

Картина изохром и поле изоклин в принципе позволяют получить значения всех компонентов напряжений ( $\delta_x$ ,  $\delta_y$ ,  $\tau_{xy}$ ) в любой точке модели. Для этого разработаны специальные методики разделения главных напряжений  $\delta_1$  и  $\delta_2$ . Эти методики сравнительно сложны

и трудоемки, и работа по этим методикам требует определенного навыка. Однако здесь следует заметить, что ряд практически важных задач можно решить, имея в распоряжении только одну картину изохром, без ее расшифровки (разделения главных напряжений). В частности, для оценки прочности соединений, работающих в условиях знакопеременного нагружения необходимо знать значения коэффициентов концентрации напряжений  $\alpha_s$  в местах искажения силового потока. При проектировании новых конструкций часто возникает потребность сравнить работоспособность различных вариантов сварных соединений и технологии их выполнения, а надежных расчетных методов нет. Такие задачи можно с успехом решать экспериментально с помощью поляризационно-оптического метода по одной картине изохром, не прибегая к сложной и трудоемкой методике ее расшифровки.

В качестве примера рассмотрим тавровые соединения с угловыми лобовыми швами, выполненными ручной дуговой сваркой без глубокого проплавления основного металла. В этом случае форма шва характеризуется геометрией его свободной поверхности. В зависимости от параметров режима сварки свободная поверхность шва может быть плоской (рис. 5.18, а), выпуклой (рис. 5.18, б) и вогнутой (рис. 5.18, в). Обычно швы с плоской свободной поверхностью называют нормальными, с выпуклой – усиленными и с вогнутой – ослабленными,

Нормальные швы могут быть равнокатетными  $\beta = 45^\circ$  и разнокатетными  $\beta \neq 45^\circ$ . На рис. 5.19 представлена картина изохром, полученная при нагружении модели таврового соединения нагрузкой  $P_M = 80$  кгс.

Как видно из рисунка, при приближении к корню шва (точка А) и месту перехода шва к свободной поверхности (точка В) порядки полос во всех швах увеличиваются. Иначе говоря, эти места в угловых швах являются концентраторами напряжений. Как известно, величина коэффициента концентрации напряжений зависит от радиуса округления  $r$  и геометрии концентратора (см. рис. 5.18). Значения коэффициентов концентрации напряжений  $\alpha_s$  определяют как отношение максимального напряжения  $\delta_{\max}$  в местах, концентрации номинальному напряжению  $\delta_H$ . За величину  $\delta_H$  принимают напряжение в пластине вдали от места перехода шва к основному металлу.

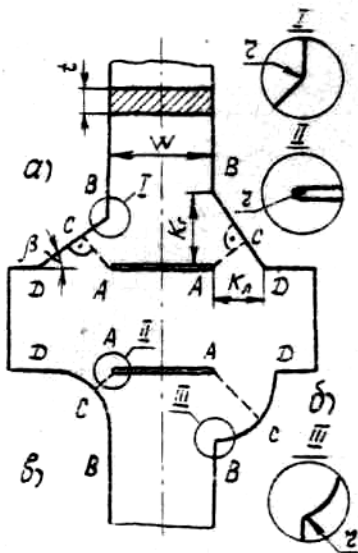


Рис. 5.18. Эскиз модели таврового соединения

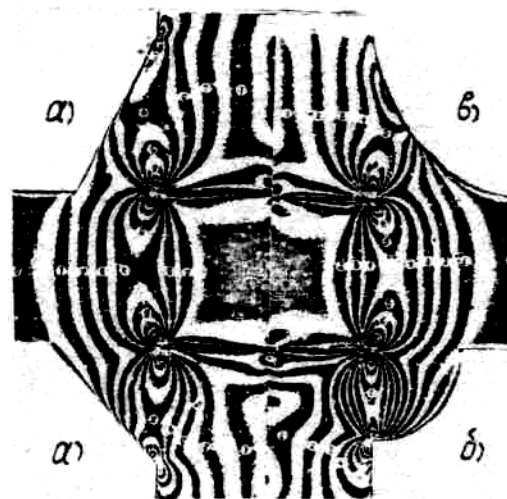


Рис. 5.19. Картина изохром в модели таврового соединения

Величину  $\delta_{\max}$  определяют как произведение порядка полосы в концентраторах А и В на цену полосы. Последнее следует из того, что точки А и В лежат на свободном контуре модели.

Следовательно, одно из главных напряжений, действующих в этих точках, равно нулю. Значение другого равно разности главных напряжений  $(\delta_1 - \delta_2)$ , а его направление совпадает с направлением к касательной в данной точке. При растяжении  $(\delta_1 - \delta_2) = (\delta_1 - 0) = \delta_1$ , а при сжатии  $(\delta_1 - \delta_2) = (0 - \delta_2) = -\delta_2$ . Таким образом,  $\delta_{\max}$  на контуре является нормальным растягивающим или сжимающим напряжением и коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_\delta$  определяют из выражения:

$$\alpha_\delta = \frac{\delta_0 n_{\max} d_m}{P_m} \quad (5.51)$$

Как правило, порядок полосы на краю концентратора не целое число, поэтому для более точного определения порядка полосы в вершине концентратора проводят экстраполяцию на край контура и находят  $n_{\max}$  непосредственно на краю.

Вязкое разрушение лобового шва происходит по достижению каким-либо сечением предельного пластического состояния. Как показывает опыт, это состояние достигается раньше всего в том сечении, где средняя интенсивность напряжений  $(\delta_i)_{cp}$  наибольшая. Для главных напряжений, исходя из энергетической гипотезы прочности, интенсивность  $\delta_i$  определяют из выражения



$$\delta_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\delta_1 - \delta_2)^2 + (\delta_2 - \delta_3)^2 + (\delta_3 - \delta_1)^2} . \quad (5.52)$$

Поскольку можно принять, что лобовые швы тавровых соединений работают в условиях плоской деформации, для этого случая

$$\delta_3 = \delta_2 = \mu(\delta_1 + \delta_3),$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\delta_z$  – напряжение, направленное вдоль шва (оси  $z$ ).

Таким образом, для определения  $\delta_i$  достаточно знать разность главных напряжений  $(\delta_1 - \delta_2)^*$ , действующих в плоскости поперечного сечения шва. Поскольку распределение напряжений в плоскостях сечения шва  $Z = const$  при плоском напряженном состоянии и плоской деформации одинаково, разность главных напряжений можно находить по картине изохром, полученной при нагружении прозрачной плоской модели. Иначе говоря, по картине изохром можно судить о распределении интенсивности напряжений  $\delta_i$  в шве и судить о нагруженности различных сечений шва.

Окружности различных сечений шва. Для этого из вершины непровара (точка А) нужно провести ряд сечений АВ, АС, АД и т.д. (см. рис. 5.18), построить по ним эпюры распределения  $\delta_i$  и определить величины средних интенсивностей напряжений по этим сечениям, представляющим собой отношение площади эпюры  $\delta_i$  в данном сечении к длине эпюры (длине  $l$  отрезка АВ, АС и т.д.). Сечение, в котором действует наибольшее по величине  $(\delta_i)_{cp}$  будет наиболее нагруженным. Экспериментальные исследования на реальных сварных соединениях пластичных сталей показывают, что швы различной геометрии разрушаются по плоскостям, совпадающим с наиболее нагруженными сечениями, определенными по картине изохром.

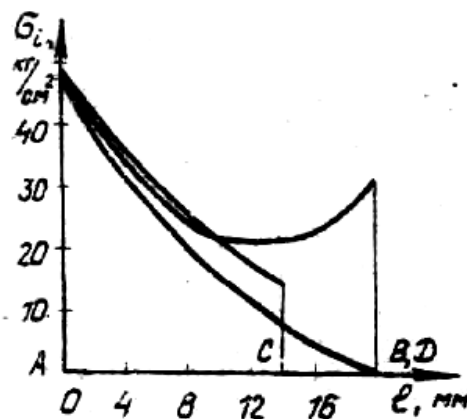


Рис. 6.20. Распределение интенсивности напряжений в сечениях равнокатетного лобового шва

В качестве примера на рис. 5.20 показаны эпюры в  $\delta_i$ , построенные для трех характерных сечений шва АВ, АС и АД) равнокатетного шва. Сечение АВ совпадает с основанием шва и является наиболее нагруженным. Сечение АС совпадает с высотой шва и в нормативном методе является расчетным. Сечение АД совпадает с лобовой гранью.

Эпюры по сечениям шва строят следующим образом. Заснятую на пленку картину изохром с помощью увеличителя проектируют в увеличенном кратном масштабе на миллиметровую бумагу. Карандашом заносят контуры шва и проводят прямые линии, совпадающие с исследуемыми сечениями шва. На этих прямых линиях точками отмечают места пересечения изохром с прямыми. Центр изохромы определяют по местам максимального почернения пленки. Затем строят графики изменения  $\delta_i$  по сечениям шва. По горизонтальной оси откладывают отрезки, равные длине сечений, а по вертикальной – порядок, умноженный на цену полосы  $\delta_0$ . На график наносят точки, абсциссы которых указывают место пересечения изохромы с сечением шва, а ординаты – порядок полосы в этом месте, умноженный на цену полосы. Точки соединяют плавной кривой. Чем больше полос, тем точнее строится эпюра. Поэтому эпюры рекомендуется строить по картинам изохром, полученным при сравнительно высоких уровнях нагрузки.

### **5.3.3. Определение деформаций и напряжений методом муаровых полос**

Этот метод базируется на использовании муарового эффекта. При наложении двух или более сеток, состоящих из линий, точек или иных геометрических элементов, возникает картина, состоящая из чередующихся темных и светлых полос. Это явление называется муаровым эффектом. Достоинством метода муаровых полос является достаточно высокая точность измерения деформаций, большая наглядность и получение деформационной картины ко всему полю детали. Этот метод имеет чисто геометрический характер, физические свойства материала не влияют на результат измерения, поэтому им могут быть исследованы как упругие, так и пластические деформации.

### 5.3.3.1. Некоторые сведения из теории деформаций

Рассмотрим случай плоской деформации, когда деформация в направлении оси  $Z$  отсутствует. Будем рассматривать конечные деформации, а не бесконечно малые. Допустим, что отрезок  $\delta r_0 = A_0B_0$  (рис. 5.21) в результате деформации переместился в положение  $\delta r = AB$ . Таким образом, точка  $A_0$  с координатами  $(X_0, Y_0)$  переместилась в положение  $A(X_0+U, Y_0+V)$ . Здесь  $U$  и  $V$  векторы смещения в направлении осей  $X$  и  $Y$ . Зная начальную длину отрезка  $A_0B_0$  и скорости изменения векторов смещения в направлении координатных осей  $(du/dx, du/dy, dv/dx, dv/dy)$  можно вычислить длину отрезка  $AB$  в любой момент деформации. Как следует из рис. 5.21, отрезки  $dx$  и  $dy$  после деформации определяются из выражений

$$\begin{aligned} \delta x &= \delta x_0 + \frac{\partial u}{\partial x} \delta x_0 + \frac{\partial u}{\partial y} \delta y_0, \\ \delta y &= \delta y_0 + \frac{\partial v}{\partial x} \delta x_0 + \frac{\partial v}{\partial y} \delta y_0. \end{aligned} \quad (5.53)$$

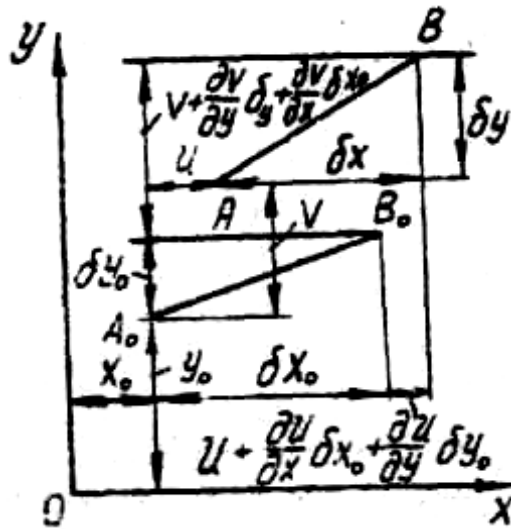


Рис. 5.21. Схема расчёта конечных деформаций

Поскольку  $(\delta r)^2 = (\delta x)^2 + (\delta y)^2$ ,

$$(\delta r)^2 = [\delta x_0(1 + \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial U}{\partial y} \delta y_0]^2 + [\delta y_0(1 + \frac{\partial V}{\partial y}) + \frac{\partial V}{\partial x} \delta x_0]^2.$$

Поделив обе части равенства на  $(\delta r_0)^2$  и учитывая, что

$$\frac{\delta x_0}{\delta r_0} = z_{x_0}, \quad \frac{\delta y_0}{\delta r_0} = z_{y_0}$$

есть направляющие косинусы волокна  $A_0B_0$  до деформации получим

$$\left(\frac{\delta r}{\delta r_0}\right)^2 - 1 = 2z_{x_0}^2 l_{xx} + 2z_{y_0}^2 l_{yy} + 2z_{x_0} z_{y_0} l_{xy}$$

где

$$l_{xx} = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right],$$
$$l_{yy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right],$$
$$l_{xy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial y}.$$

### 5.3.3.2. Геометрическая интерпретация картин муаровых полос

В настоящее время существует большое количество разновидностей метода муаровых полос. Мы рассмотрим только один метод, когда сетка параллельных линий наносится непосредственно на поверхность исследуемой детали и деформируется вместе с этой поверхностью. При наложении изображений сеток до и после деформации возникает картина муаровых полос. При этом наложении осуществляется фотографирование деформированной сетки через недеформированную «эталонную сетку», нанесенную на прозрачную пластинку и наложенную на поверхность детали. В полиграфии систему линий с одинаковым шагом называют растром. В случае однородной равномерной деформации (сдвига или растяжения), образующиеся муаровые полосы представляют собой систему чередующихся параллельных (расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга) линий. Определение деформаций тела по такой картине полос не представляет труда и, вообще говоря, такие случаи не представляют интереса.

В случае неоднородной деформации более удобной для анализа является интерпретация полос как линий уровня поля перемещений. Если сетка линий нанесена параллельно оси  $Y$ , то муаровые полосы являются геометрическим местом точек, имеющих одинаковую компоненту перемещения  $U$ . При этом разница в значениях  $U$  для соседних полос равна шагу эталонного раstra. Если изобразить поверхность  $U=U(X, Y)$  (рис. 5.22), то можно видеть, что муаровые полосы являются линиями уровня этой поверхности, т.е. линиями пересечения этой поверхности с горизонтальными плоскостями, расположенными на расстоянии  $\alpha$  одна от другой. Аналогично муаровые полосы, образованные сеткой линий, нанесенных в направлении оси  $X$ , являются линиями уровня поверхности  $V=V(X, Y)$ . Обе картины муаровых полос дают полное представление о поле перемещений поверхности исследуемой детали.

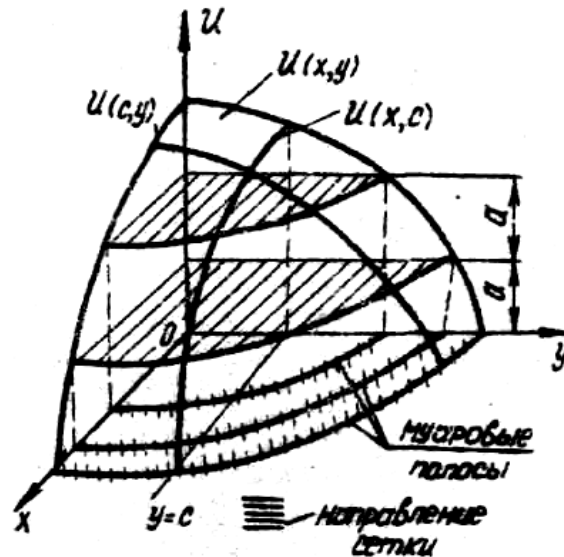


Рис. 5.22. Геометрическая интерпретация картин муаровых полос

По картинам муаровых полос строят графики изменения  $U$  и  $V$  вдоль прямых, параллельных координатным осям. Кривые  $U(x, c)$  и  $U(c, y)$  вдоль линий  $X = C$  и  $Y = C$  на рис. 5.22 являются примерами таких графиков. Из этих графиков определяют частные производные. Так, по кривой  $U(x, c)$  на рис. 5.22 могут быть определены величины  $du/dx$  вдоль линии  $y = c$ , а по кривой  $U = U(c, y)$  величины  $du/dy$  вдоль линии  $x = c$ .

При численном дифференцировании дифференциалы должны быть заменены конечными приращениями,  $\Delta U$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ . В качестве  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  можно взять расстояние между соседними муаровыми полосами, измеренными в координатных направлениях. Тогда соответствующие им приращения  $\Delta U = \Delta V = \alpha$  и частные производные определяются из равенства:

$$\frac{dU}{dx} \approx \frac{\Delta U}{\Delta x} = \frac{\alpha}{S_{ux}} \quad \frac{dU}{dy} \approx \frac{\Delta U}{\Delta y} = \frac{\alpha}{S_{uy}}, \quad (5.54)$$

$$\frac{dV}{dx} \approx \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{\alpha}{S_{vx}} \quad \frac{dV}{dy} \approx \frac{\Delta V}{\Delta y} = \frac{\alpha}{S_{vy}}$$

где  $\alpha$  – шаг недеформированного (эталонного) растра;  $S_{ux}$ ,  $S_{uy}$  – расстояния между соседними муаровыми полосами на картине линий уровня  $U$ , измеренные в направлении осей  $x$  и  $y$ ;  $S_{vx}$ ,  $S_{vy}$  – то же для картины линий уровня.

При построении графиков  $U$  и  $V$  используются свойства непрерывности и единственности поля перемещений.

### 5.3.3.3. Расшифровка картин муаровых полос

Полученную в результате пластической деформации картину муаровых полос расшифровывают следующим образом.

Заснятую на пленку картину муаровых полос с помощью фотоувеличителя проектируют в увеличенном (кратном) масштабе  $M_1$ , на миллиметровую бумагу. Остро заточенным карандашом проводят тонкие линии, совпадающие с центрами муаровых полос. Центр полосы определяют по местам наибольшего почернения.

После этого на увеличенную муаровую картину наносят координатную сетку сечений. Расстояние между линиями сетки, параллельными оси  $x-t$ , оси  $y-t'$ . Сечения, параллельные оси  $x$ , нумеруют  $1, 2, 3, \dots, n$ , а параллельные оси  $y - 1, 2', 3', \dots, n'$ .

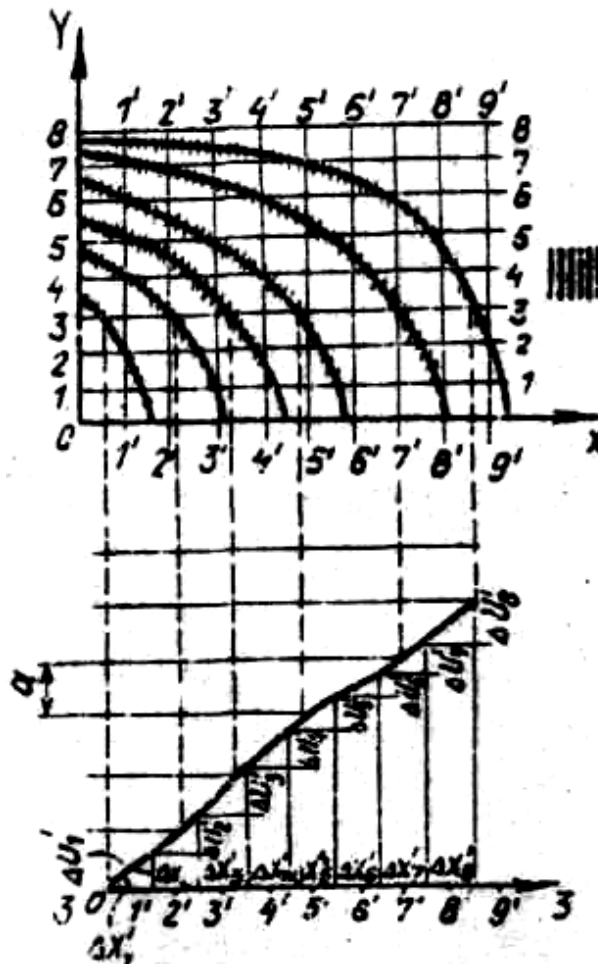


Рис. 5.23. Картина муаровых полос с нанесённой сеткой.  
Линии раstra перпендикулярны оси  $x$

На рис. 5.23 представлена картина муаровых полос с нанесенной сеткой координатных сечений. Муаровые полосы в данном случае есть линии уровня поверхности  $U = U(x, y)$ . По картинам муаровых

полос, представляющих собой линии уровня перемещений, строят графика изменения  $U$  и  $V$  вдоль прямых, параллельных координатным осям. Из этих графиков графическим дифференцированием определяют частные производные  $du/dx, du/dy, dv/dx, dv/dy$ .

На нижней части рис. 5.23 представлена кривая изменения  $U$  вдоль сечения 3-3, по которой определяют частные производные  $du/dx$ , как отношение приращения  $\Delta U$  на некотором участке к длине этого участка. Так, производная  $du/dx$  на участке (в точке) 3 определится из выражения

$$\frac{dU}{dx} = \frac{\Delta U'_3}{\Delta x'_3} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (5.55)$$

где  $M_1$  – масштаб увеличения муаровой картины;  $M_2$  – масштаб увеличения поля эталонного раstra.

Следует заметить, что построение графиков по всем сечениям реформируемого тела – трудоемкая операция. Поэтому для расшифровки картин муаровых полос частные производные вычисляют без построения графиков. Рассмотрим рис. 5.24, на котором представлен график изменения перемещения  $U$  вдоль некоторого сечения, параллельного оси  $X$ . Требуется вычислить  $du/dx_{(2')}$  ячейки 2. Из рис. 5.24 следует, что

$$\frac{\partial U}{\partial x_{(2')}} = \frac{t}{t'} \cdot \frac{M_1}{M_2}$$

Так как  $f = m + a + a + n$ , а  $m = \frac{ac}{z_1}$ ;  $n = \frac{ad}{R_4}$ , получим

$$\frac{\partial U}{\partial x_{(2')}} = \frac{a\left(\frac{c}{R_1} + 2 + \frac{d}{R_4}\right)}{t'} \cdot \frac{M_1}{M_2} \quad (5.56)$$

Где  $z_1, z_2, z_3, z_4$  – расстояния между соседними муаровыми полосками в направлении оси  $x$ ;  $t'$  – длина ячейки на которой определяется приращение  $\Delta U$ ,  $a$  – шаг эталонной решетки, умноженный на  $M_1$ .

Если в размер ячейки попадает  $N$  полюс, а не 2, как на рис 5.24, то для данной ячейки получим

$$\frac{\partial U}{\partial x_{(2')}} = \frac{a\left(\frac{c}{R_{n+2}} + 2 + N\right)}{t'} \cdot \frac{M_1}{M_2}.$$

Величины  $c, d, R_1$  и  $R_{n+2}$  находят непосредственно на миллиметровой бумаге, на которую спроектирована картина муаровых полос, а вместо величины  $a/M_2$  подставляют шаг эталонного раствора без уве-

личения.

Так как картина муаровых полос характеризует распределение перемещений в деформированном состоянии тела, то определенные по ней перемещения  $U$  и  $V$  соответствуют координации Эйлера. Переход к более употребительным координатам Лагранжа осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x^R} &= \frac{\partial U / \partial x^3}{1 - \partial U / \partial x^3}; & \frac{\partial U}{\partial y^2} &= \frac{\partial U / \partial y^3}{1 - \partial V / \partial y^3} \\ \frac{\partial V}{\partial y^R} &= \frac{\partial U / \partial y^3}{1 - \partial V / \partial y^3}; & \frac{\partial V}{\partial x^R} &= \frac{\partial V / \partial x^3}{1 - \partial U / \partial x^3}. \end{aligned} \quad (5.57)$$

Подставив значения производных из X, получим формулы для вычисления относительных деформаций (Лангранжевых):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx}^z &= \frac{\sqrt{1 + (\partial V / \partial x^3)^2}}{1 - \partial U / \partial x^3} - 1, \\ \varepsilon_{yy}^z &= \frac{\sqrt{1 + (\partial U / \partial y^3)^2}}{1 - \partial V / \partial y^3} - 1, \\ \sin \chi_{xy}^z &= \frac{\partial U / \partial y^3 + \partial U / \partial x^3}{(1 - \partial U / \partial x^3)(1 - \partial V / \partial y^3)}. \end{aligned}$$

Если величины  $\partial V / \partial x^3$  и  $\partial U / \partial y^3$  не превышают величины 0,3 (что обычно имеем на практике), то в выражении (5.57) им можно пренебречь. Погрешность при этом не превышает 5 %. Кроме того, в случае плоской деформации значения производных  $\partial U / \partial x^3$  и  $\partial V / \partial y^3$  имеют равные знаки и незначительно отличаются по величине, поэтому можно считать

$$\left(1 - \frac{\partial U}{\partial x^3}\right)\left(1 - \frac{\partial V}{\partial y^3}\right) \approx 1. \quad (5.74)$$

С учетом указанного выражения (5.57) упростятся и будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx}^R &= \frac{\partial U / \partial x^3}{1 - \partial U / \partial x^3} \\ \varepsilon_{yy}^Z &= \frac{\partial V / \partial y^3}{1 - \partial V / \partial y^3} \end{aligned}$$



$$\sin \chi_{xy}^z = \chi_{xy}^z = \frac{\partial U}{\partial y^2} + \frac{\partial V}{\partial x^2}.$$

Из теории пластичности известно, что при плоской деформации  $\varepsilon_{xx} = -\varepsilon_{yy}$ , поэтому в принципе достаточно определить  $\varepsilon_{xx}$  и  $\chi_{xy}$ . По известным значениям  $\varepsilon_{xx}$  и  $\chi_{xy}$  находят интенсивность пластических деформаций из выражения

$$\varepsilon_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{4\varepsilon_{xx}^2 + \chi_{xy}^2}$$

По распределению  $\varepsilon_i$  в швах, в предположении о единой кривой течения, определяют распределение интенсивности напряжений в пластической стадии деформирования швов.

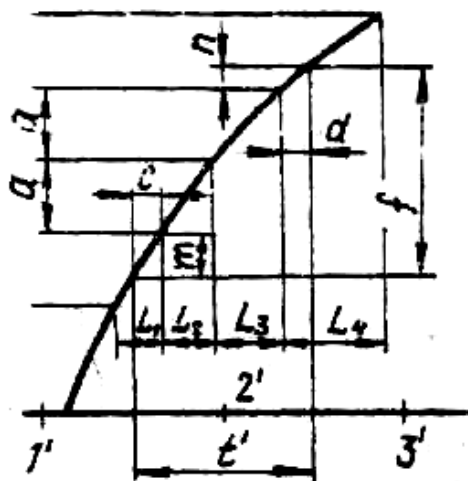


Рис. 5.24. Изменение перемещения  $U$  вдоль сечения, параллельного оси  $X$

#### 5.3.3.4. Получение контрольных растров

Линеатура применяемых растров обуславливается желаемым диапазоном и точностью измерения деформаций. Для исследования упругих и малых упруго-пластических деформации в плоских образцах или деталях, необходимо использовать растры с линеатурой порядка 30 – 200 линий на миллиметр, а для измерения больших пластических деформаций растры с линеатурой 2-10 линий на миллиметр. В последнем случае применяю копии полиграфических линейных растров.

К сожалению, промышленность не выпускает растры с линеатурой более 10 линий на миллиметр. Более мелкие растры можно получить из крупных репродукционным способом, но для точного вос-

произведения СТР 99-----в этом случае необходима специальная репродукционная камера с апохроматическим объективом, исправленным от аберраций.

Для уменьшения шага растра изготовлено устройство, позволяющее точно фиксировать перемещение растра в направлении, перпендикулярном к его линиям. Неэкспонированная фотопластинка закрепляется в устройстве эмульсией вверх, на нее накладывают эталонный растр и производят экспонирование. Затем с помощью микровинта растр перемещают относительно фотопластинки на  $1/4$  шага в направлении, перпендикулярном к линиям растра и фотопластинка экспонируется вторично, при тех же условиях, что и в первый раз. После проявления получается растр с 25% пропускающей способностью, который накладывают на новую фотопластинку и делают первую экспозицию, затем с помощью того же устройства перемещают его на  $1/2$  шага исходного растра и делают вторую экспозицию. После проявления такой фотопластинки на ней возникает растр с частотой линий, вдвое большей, чем из исходного растра и 50% пропускающей способностью (рис. 5.25).



Рис. 5.25. Схема уменьшения шага исходного растра в два раза

Этим же способом частота исходного растра может быть увеличена в три, четыре и больше раз без уменьшения общих размеров пластинки с исходным растром.

К фотоэмульсиям, применяемым для изготовления фотокопий растров, предъявляют следующие требования:

1. Высокая разрешающая способность.
2. Высокая контрастность (показатель контрастности  $\gamma \approx 6$ ).
3. Резкий край штриха.
4. Отсутствие деформаций при высыхании.

Обычно изготовления контрольных растров производят на фотопластинках с фотоэмульсией «Ядерная К» (растры с линеатурой 20 –

50 линий на миллиметр) или «Микрат ВР» (растры с линеатурой 50 - 100 линий на миллиметр).

Фотопластинки «Микрат ВР» проявляют в стандартном проявителе Д-19. После полного проявления пластинки следует погрузить на одну минуту в 5%-ный раствор уксусной кислоты, а затем опустить в 30% фиксаж (гипосульфит – 300 г,  $K_2S_2O_3$  – 30 г, дистиллированная вода – 1 л).

Пластинки с эмульсией «Ядерная К» после экспонирования проявляют в двухрастворном щелочном проявителе (1%-й раствор: вода – 320 мл, сульфит – 28,6 г, гидрохион – 14,3 мл; 2%-й раствор: вода – 480 мл, КОН – 10,5 г, КВг – 12,5 г) и затем закрепляют в обычном фиксаже.

Все подготовительные процессы, проявление и закрепление пластинок с фотоэмульсиями «Ядерная К» и «Микрат ВР» следует производить при освещении через фильтр № 117.

### **5.3.3.5. Подготовка поверхности образцов и нанесение на них растров**

Наиболее распространен на практике способ нанесения растров на исследуемую поверхность, при которой на поверхность образца наносится сенсibilизированная эмульсия на основе хромированной желатины с последующим контактным фотографированием растра непосредственно на образце. Перед нанесением эмульсии поверхности образцов шлифуют и обезжиривают. Обезжиривание производят с помощью зубного порошка или пасты ГОИ до тех пор, пока вода не будет растекаться равномерным слоем по всей поверхности образца. Алюминиевые образцы травят в 10...15%-ном растворе КОН или NaOH, после чего поверхность обезжиривается и становится матово белой. Поверхности корродирующих металлом (сталь, свинец) рекомендуется обслуживать тонким равномерным слоем сплава Вуда или покрывать хромом (никелем).

Светочувствительная эмульсия должна покрывать поверхность образца тонким, равномерным слоем. Обычно для этого применяют центрифугу. Эмульсию наносят напылением или поливом. Однако получить тонкий, равномерный слой по всей поверхности образца указанными способами практически невозможно, когда в образце имеются отверстия, прорезы или выточки.

Тонкую и равномерную по всей поверхности пленку можно получить окунанием образца в эмульсию, в установке, схематически

показанной на рис. 5.26. Тщательно очищенный и обезжиренный образец, подогретый до 40...45°C погружается в ванночку с эмульсией. После некоторой выдержки, открывают кран 5 для слива эмульсии. Вытекая из ванночки, эмульсия за счёт повышенного натяжения покрывает тонким слоем поверхность образца. Для получения равномерного по всей поверхности слоя необходимо, чтобы скорость опускания эмульсии в ванночке была равномерной. Последнее обеспечивают заданием постоянной высоты столба эмульсии  $H$ . Для этого конец гибкого сливного шланга 3 жестко соединяют с поплавком 4, который, опускаясь по мере вытекания эмульсии, опускает гибкий шланг и обеспечивает постоянную высоту  $H$ .

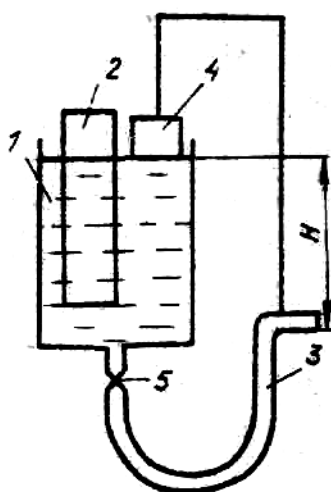


Рис. 5.26. Схема установки для нанесения эмульсии на поверхности образца: 1 – ванночка с эмульсией; 2 – деталь; 3 – гибкий шланг; 4 – поплавок; 5 – сливной кран

После нанесения эмульсии образец на 20...30 минут помещают в термостат (для термообработки эмульсии при температуре примерно 45°C). Затем на нем фотоконтактным способом печатается растр. При печатании растра на образце система освещения и условия экспонирования такие же, как при изготовлении растровых копий на фотопластинках. Различна лишь продолжительность экспонирования. При освещении ртутной лампой мощностью 500 Вт на расстоянии 1 метр продолжительность экспонирования для желатиновой эмульсии 1,0...1,5 мин. Изображение на детали проявляют в теплой (+35...45°C) воде. Образец помещают в ванночку и выдерживают в ней 2...3 минуты (при легком перемешивании воды). При таком проявлении не засвеченные участки эмульсии растворяются в воде и вымываются. На детали остаются лишь чередующиеся штрихи. После

проявления полученный рельеф окрашивают (с помощью черного анилинового красителя типа БК) и опускают на 30...40 секунд в 10%-й раствор хромовых квасцов. Затем образец промывают в воде и сушат на воздухе. Полученное таким образом изображение подвергают термообработке в термостате при 80...150°C в течение 20 минут.

Чем меньше шаг растра, тем тоньше должен быть слой наносимой эмульсии. Толщина слоя зависит от состава эмульсии и скорости вытекания эмульсии из ванночки. Количество желатина и хромпика в эмульсии меняют в зависимости от шага наносимого растра. Для частоты до 15 линий на миллиметр наиболее подходящий состав эмульсии: желатина – 6 г, хромпик  $K_2Cr_2O_7 \cdot K_2$ , – 1,2 г, дистиллированная вода – 100 г.

Для нанесения растра частотой 40 и 50 линий на миллиметр: желатина – 3,5 г, хромпик – 0,85 г, дистиллированная вода – 100 г.

Скорость вытекания эмульсии регулируют высотой столба эмульсии Н. Для линейности до 15 линий на миллиметр Н = 200 мм, для 20...50 линий на миллиметр Н = 100...120 мм.

Описанный способ позволяет довольно просто нанести равномерный слой эмульсии сразу на все поверхности образца. С поверхностей, на которые растр не печатается, при проявлении эмульсия полностью смывается.

### **5.3.3.6. Изготовление и испытание образцов**

Для исследования изготавливают по две одинаковые плоские модели (детали). На одну из них наносят растр с линиями, перпендикулярными оси X, на другую – перпендикулярными оси Y.

Для осуществления плоской деформации модели испытывают на сжатие в специальном контейнере, который состоит из двух пластин толщиной 40 мм каждая. Внутренние стенки контейнера шлифованные.

Перед испытанием модели складывают так, что стороны с нанесенным растром совмещаются друг с другом, а затем помещают в контейнер, стенки стягиваются шестью болтами. Деформацию образцов лучше осуществлять по стадиям. После каждой стадии нагружения образцы вынимают из контейнера и фотографируют картину муаровых полос. Постадийное деформирование позволяет проследить кинетику развития пластических деформаций в швах. Полную расшифровку картин муаровых полос обычно производят на одной или нескольких стадиях нагружения. На остальных стадиях деформацию

оценивают качественно по густоте муаровых полос в шве.

Величины деформаций  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\varepsilon_{yy}$  и  $\gamma_{xy}$  определяют по формулам (5.75). По формуле (5.76) определяют интенсивность деформаций  $\varepsilon_i$ , по величине которой из диаграммы упрочнения определяют интенсивность напряжений  $\delta_i$  в пластической области.

Во избежание перекоса образцов при их деформировании по обе стороны рекомендуется ставить два стержня одинаковой высоты (рис. 5.27). Зазор  $\Delta$  между стержнями и пластиной, через которую передается усилие на образцы, позволяет точно задавать ту или иную степень деформации образцов на каждой стадии.

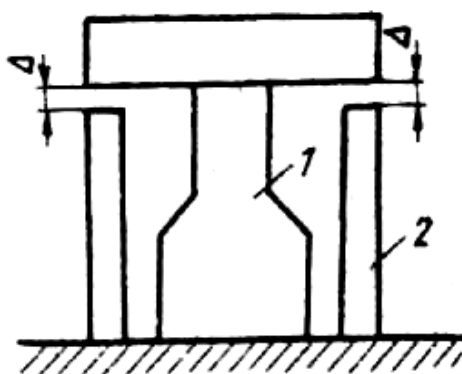


Рис. 5.27. Схема установки образцов в контейнере:  
1 – стержни-ограничители; 2 – модель

## 6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все материалы, полученные в процессе исследования, систематизируют и оформляют в виде научного отчёта. К отчёту предъявляют следующие требования: четкость построения и логическая последовательность изложения, краткость и точность формулировок, убедительность аргументации и доказательность выводов и рекомендаций.

При составлении научных отчётов следует руководствоваться ГОСТ 7.32-81. Отчёт содержит титульный лист, список исполнителей, реферат, оглавление, основную часть, список литературы и приложения.

Основная часть отчёта включает введение, разделы (главы) и заключение (выводы и рекомендации).

Введение кратко характеризует повременное состояние исследуемого вопроса, а также цель, новизну и актуальность исследования.

В разделах (главах) излагают содержание выполненной НИР, описывают результаты исследования, в том числе и отрицательные. В первой главе дается изложение предыдущих работ разных авторов по вопросам исследования и их анализ. В следующих разделах — теоретическое исследование с разработкой рабочей гипотезы, методика и результаты экспериментальных исследований, сопоставление теоретических и экспериментальных данных и др.

Заключение содержит оценку результатов работы в виде выводов и предложений по использованию полученных результатов и продолжению исследований в данном направлении.

Содержание научных отчётов рецензируют и докладывают в научных коллективах. Научный работник должен уметь выступать с научным докладом, вести научную дискуссию, убедительно аргументировать свои научные предложения.

Часто результаты НИР публикуют. К публикациям относятся монографии, брошюры и статьи.

## 7. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Завершающим этапом НИР является их внедрение в производство.

**Внедрение** – передача производству научной продукции в удобной для реализации форме. Процесс внедрения состоит из двух этапов:

- опытно-производственного внедрения;
- серийного внедрения в отрасли или народном хозяйстве.

Опытно-производственное внедрение предполагает опытную проверку результатов НИР в производственных условиях. На основе результатов опытной производственной проверки анализируют технико-экономическую эффективность опытных образцов (конструкций, оборудования, материалов) и технологий; надёжность, долговечность, возможность и себестоимость серийного производства, технологичность изготовления и эксплуатации и др.

Результаты испытаний оформляют в виде пояснительной записки, а которую включают и акты испытаний, подписанные двумя сторонами (заказчиком и исполнителем).

Первый этап внедрения требует больших финансовых затрат, значительной трудоемкости в изготовлении опытных образцов, связан с продолжительными производственными испытаниями, часто требующими доделок и переделок. Поэтому на этом этапе требуется участие исполнителя НИР.

На втором этапе новые материалы, машины или технологии внедряют в серийное производство. Здесь участие исполнителя НИР не обязательно.

После внедрения НИР в производство составляют акты внедрения, расчет экономической эффективности, справки о годовом объеме внедрения, протокол долевого участия организаций в разработке и внедрения и другие документы.



## **8. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ**

### **8.1. Виды полезного эффекта научных исследований**

Под эффектом научно-технического прогресса понимают его положительные результаты, полученные на разных стадиях цикла наука – техника – производство – применение. Причем эти результаты должны обеспечивать решение социальных, политических, экономических и других задач, стоящих перед обществом в настоящий период.

Различают следующие основные виды полезного эффекта от проводимых научных исследований: научно-технический, социальный и экономический.

Научно-технический эффект характеризует научно-техническую полезность объекта разработки и выражается расширением знаний, открытием новых явлений и закономерностей, предназначенных для разработки новых средств и веществ, а также для использования их в других научных исследованиях.

Он может быть выражен как научными, так и техническими показателями. Научные показатели: количество полученной и накопленной новой информации (монографии, сборников, статей, научных докладов и других публикаций); признание работы (число патентов и авторских свидетельств, дипломов и медалей и тематических выставок, премирование, использование работы в других исследованиях, число ссылок на работу в печати); повышение квалификации кадров (докторские и кандидатские диссертации, присвоение научных званий); использование результатов исследований в учебном процессе (совершенствование методики и организация обучения, качество подготовки специалистов).

Технические (конструкторско-технологические) показатели: материалоемкость, энергоемкость, степень унификации и стандартизации, безотказность и долговечность и другие конкретные показатели, используемые при проектировании техники и технологии.

Социальный эффект выражается изменением социальных условий жизни людей, воздействием научно-технического прогресса на характер и содержание труда человека, а также общественные условия его жизни. Он характеризуется рядом качественных показателей: ликвидацией тяжелого физического труда, улучшением условий тру-

да, повышением степени его механизации и автоматизации, улучшением техники безопасности, повышением жизненного уровня и бытовых условий населения, сохранением и улучшением окружающей природной среды, повышением престижа и обороноспособности страны и т.п.

Экономический эффект заключается в экономии совокупного общественного труда. Он состоит в получении дополнительных экономических выгод (экономия материальных, трудовых и финансовых ресурсов), выражающихся, в конечном счете, в повышении производительности общественного труда и росте национального дохода.

Экономическая целесообразность того или иного научно-технического решения характеризуется такими показателями, как снижение себестоимости или издержек производства, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, годовой экономической эффект и др. Непосредственно экономический эффект на стадиях внедрения, производства и эксплуатации объекта новой техники и технологии. На этих стадиях жизненного цикла объекта техники появляется возможность получения дополнительного экономического эффекта, обусловленного организационными условиями производства и эксплуатации его. Их можно охарактеризовать такими показателями, как длительность производственного цикла, ритмичность, численность работающих, производительность труда, использование рабочего времени и т.д.

Необходимость оценки экономического эффекта научных исследований в процессе управления научно-техническим прогрессом обусловлена решением трёх основных задач. Первая из них связана с управлением ресурсами в сфере науки. Вторая задача состоит в определении вклада науки в развитие и повышение эффективности производства.

Третья задача заключается в совершенствовании системы экономического стимулирования научных коллективов.

При итоговой оценке результатов НИР и ОКР в зависимости от их цели в качестве основного оценочного критерия принимается один из видов эффекта, а остальные учитываются как дополнительные или в качестве ограничений. Обычно в большинстве случаев за основу оценки принимается экономический эффект, а другие виды эффекта при невозможности их выражения в стоимостной, денежной форме учитываются дополнительно.

## 8.2. Этапы и особенности определения экономического эффекта НИР

В зависимости от стадии выполнения НИР различают четыре вида экономического эффекта: предварительный, ожидаемый, плановый и фактический. Предварительный эффект определяют при прогнозировании и отборе тематики, после выполнения начальных этапов НИР (техническое задание и т.п.); ожидаемый (потенциальный) экономический эффект – после завершения НИР; плановый – при разработке планов тиражирования результатов НИР; фактический – по итогам внедрения результатов исследований.

**Предварительный** народнохозяйственный эффект от НИР определяется для выявления целесообразности проведения новой исследовательской работы на этапе формирования планов работ НИИ и КБ. Для расчета предварительного экономического эффекта исходные данные определяются на основе тенденции технического прогресса в отрасли на перспективный период, отчетных заводских материалов, нормативных и руководящих материалов в областях возможного применения, а также по литературным данным и предполагаемым результатам научно-исследовательских работ.

В качестве базы (аналога) для сравнения принимаются технико-экономические показатели лучшей техники (технологии) спроектированной в России (или зарубежной техники, которая может быть закуплена в необходимом количестве или разработана в России на основе приобретения лицензии), имеющей наименьше приведенные затраты в расчете на единицу продукции, выпускаемой с помощью этой техники. При отсутствии проектных разработок в России и невозможности использовать зарубежный опыт в качестве базы сравнения принимаются показатели лучшей техники, имевшейся в России, с учетом возможности ее (улучшения) к предполагаемому году внедрения НИР.

**Ожидаемый (потенциальный)** экономический эффект определяется по окончании НИР и представляет собой экономический потенциал, регулируемый по мере внедрения результатов этих работ. Он измеряется максимальным экономическим эффектом, который может быть достигнут на основе внедрения работы в производство за расчетный период. Длительность расчетного периода определяется временем морального старения техники и регламентируется отраслевыми инструкциями, но обычно не превышает двух периодов атте-

станции. При укрупненных расчетах в отраслях машиностроения этот период может приниматься равным пяти годам. Исходные данные для расчетов, ожидаемого экономического эффекта определяются по нормативам и отраслевым руководящим материалам, а также по результатам изготовления и эксплуатации опытных образцов техники. В качестве базы сравнения принимаются показатели внешней серийно выпускаемой заменяемой техники к технологии ее изготовления. В тех случаях, когда старой (заменяемой) техники, аналогичной внедряемой, не имеется, за базу можно принять главные показатели техники, с помощью которой производится та продукция (или работа), которая будет выпускаться при использовании внедряемой техники. Если средство труда (машина, устройство, инструмент) новой конструкции более универсально и выполняемые им работы ранее производились комплексом соответствующих средств, за базу сравнения следует принимать весь этот комплекс.

**Плановый** экономический эффект рассчитывается на этапе формирования планов по освоению первых промышленных серий, внедрения прогрессивной технологии, новых способов организации производства и труда, а также на этапе планирования, тиражирования результатов НИР при внедрении и эксплуатации новой техники. Плановый экономический эффект рассчитывается на планируемый годовой объем производства продукции (или работ) предприятием или группой предприятий. Исходными для расчета являются планируемые показатели использования новой техники на предприятии или нормативы передовых предприятий в расчете на единицу продукции (или работ). За базу сравнения при расчете планового экономического эффекта принимается намечаемая к замене техника.

**Фактический** экономический эффект определяется по итогам внедрения результатов исследования с целью оценки степени распространения результатов НИР в народном хозяйстве, а также для оценки деятельности научных организаций. Исходными данными для расчета являются фактически достигнутые показатели применения результатов внедрения на предприятиях. За базу сравнения в этом случае принимается заменяемая техника.

Внедренными считаются только те работы, которые, получив применение в народном хозяйстве (изготовлена серия нового вида машины, инструмента, введена новая технология и т.д.). Если предметом научной работы было составление нормативных материалов (ГОСТов), инструкций, методик, технических условий и т.д., то вне-

дрение этих документов.

Для НИР и мероприятий по внедрению новой техники общим является то, что все они – составные части единого процесса наука – техника – производство – применение. Поэтому эффективность большинства научно-исследовательских работ определяется по результату их применения в производстве и в эксплуатационных условиях. В связи с этим методы определения себестоимости, капитальных вложений и экономического эффекта являются общими для НИР и мероприятий по новой технике.

Вместе с тем необходимо учитывать следующую специфику и особенности определения эффективности НИР:

- прогнозный вероятностный характер эффективности НИР, обусловленный отсутствием результатов внедрения, особенно на стадии предварительных расчетов;

- расчеты эффективности проводятся, как правило, при отсутствии достоверной информации о будущем эффекте и без апробации результатов исследований, в связи с чем эффективность исследований представляет собой потенциал, реализуемый по мере использования результатов работы в производстве;

- наличие предпроизводственных затрат, обусловленных выполнением научных исследований и экспериментов, конструированием экспериментального оборудования, аппаратуры, приборов и других затрат, связанных с НИР, что выдвигает необходимость учета их полной величины, определения эффективности этих затрат и учёта их при комплексной оценке эффективности НИР;

- поэтапность выполнения НИР, которая растягивается во времени, достигая, например, в машиностроении длительности разработки до 5-8 лет и более, в связи с чем не по всем этапам исследования и разработки представляется возможным производить подсчет экономической эффективности;

- необходимость учета долевого участия разных организаций (исполнителей) в получаемом эффекте от разрабатываемых НИР;

- учет эффективности НИР в течение времени экономически эффективного действия новой техники в различных отраслях народного хозяйства.

Все эти особенности усложняют расчеты эффективности и могут приводить к необходимости применения (особенно на ранних стадиях выполнения НИР) системы экспертных оценок. Однако, учитывая общность единого процесса наука – техника – производство –

применение и целевую направленность НИР на практическое использование в народном хозяйстве, в подавляющем большинстве случаев удается установить области применения результатов исследований в конкретных технических мероприятиях и тем самым определить их долевую экономическую эффективность.

Причем в зависимости от стадии выполнения и внедрения исследовательской работы исходные данные и расчеты экономического эффекта последовательно уточняются и дополняются.

### **8.3. Расчёт годового экономического эффекта**

Проведение расчетов годового экономического эффекта осуществляется в следующей последовательности: выбор базы для сравнения, определение размера капитальных и текущих затрат, расчет показателей экономической эффективности, оформление расчетов экономического эффекта.

**Выбор базы для сравнения** зависит от этапа определения экономического эффекта. Характеристика объектов базы сравнения в зависимости от этапов выполнений НИР приведена в предыдущем разделе. При выборе базы сравнения необходимо определить изменения технических и организационных показателей, происходящие под воздействием мероприятия, оценить влияние технических мероприятий на экономические показатели и вычленив перечень изменяющихся экономических показателей, сформировать и проанализировать исходные сравнительные данные, обеспечив их сопоставимость. Перечень сравниваемых признаков и показателей определяется характером рассматриваемой техники.

В составе капитальных вложений изготовителей и потребителей новой техники учитываются как непосредственные капитальные вложения, так и другие единовременные затраты, необходимые для создания и использования техники вне зависимости от источников финансирования. Капитальные затраты должны определяться как сумма вложений прямых, сопряженных и сопутствующих. В качестве прямых капитальных вложений учитываются вложения, требуемые непосредственно на предприятии-изготовителе продукции. Под сопряженными затратами понимаются капитальные вложения в смежные отрасли и предприятия, обеспечивающие изготовителя продукции элементами основных и оборотных фондов. Сопутствующими капитальными вложениями являются вложения в объекты, обеспечиваю-

щие нормальную эксплуатацию новой техники. Эти капитальные затраты учитываются в доле, которая соответствует величине потребления их продукции и услуг.

При определении прямых единовременных затрат, когда внедрению новых средств предшествует выполнение научно-исследовательской работы сторонними организациями, в капитальных вложениях должны частично или полностью учитываться предпроектные затраты этих организаций. Предпроектные затраты на выполнение научно-исследовательской работы в общем случае складываются из стоимости следующих работ: теоретических и экспериментальных исследований; лабораторных и заводских испытаний; проектирования и конструирования оборудования, оснастки, технологических процессов, участков, цехов, являющихся объектами НИР; изготовления, испытания и доводки опытных образцов. При конкретных расчетах те или иные элементы предпроектных затрат могут отсутствовать. По своей сути перечисленные затраты являются текущими затратами научно-исследовательских организаций на выполнение НИР. Однако для определения годового экономического эффекта от внедрения результатов НИР предпроектные затраты выступают как единовременные и поэтому должны учитываться в составе капитальных вложений, принимаемых к расчету по вариантам. При расчете суммы капитальных вложений следует учитывать только те их составляющие, которые различаются по величине в сопоставляемых вариантах.

Размер текущих годовых затрат в производстве определяется произведением себестоимости единицы продукции на годовой объем ее выпуска. При сравнении вариантов технических решений с одинаковой производительностью расчеты следует вести по изменяющимся элементам себестоимости. Состав статей себестоимости продукции, способы их расчета и общие методы калькулирования принимаются в соответствии с действующими в отраслях нормативными документами. В самом общем случае в составе текущих затрат учитываются материальные затраты, заработная плата, расходы по содержанию и эксплуатации оборудования, цеховые и общезаводские расходы.

Для определения годового экономического эффекта должна быть обеспечена сопоставимость сравниваемых вариантов и базовой техники по следующим показателям:

- составу и объему производимой с помощью новой техники продукции (работы);

- качественным параметрам;
- фактору времени;
- социальным факторам производства и использования продукции, включая влияние на окружающую среду.

Поэтому определенные капитальные и текущие затраты следует привести (скорректировать) к сопоставимому виду с учетом вышеперечисленных факторов.

Учет фактора времени осуществляется путем приведения к одному моменту времени (началу расчетного года) единовременных и текущих затрат на создание и внедрение новой и базовой техники и результатов их применения. Такое приведение выполняется умножением (делением) затрат соответствующего года на коэффициент приведения, определяемый по формуле:

$$\alpha_t = (1 + E)^t, \quad (8.1)$$

где  $\alpha_t$  – коэффициент приведения,  $E$  – норматив приведения (0,1),  $t$  – число лет, определяющее затраты данного года от начала расчетного года.

Затраты, осуществляемые до начала расчетного года, умножаются на коэффициент приведения, а после расчетного года делятся на этот коэффициент. За расчетный год определения годового экономического эффекта принимается первый год после окончания планируемого (нормативного) срока освоения производства новой техники. Как правило, это второй или третий календарный год серийного выпуска новой продукции или использования новой технологии производства.

Расчет годового экономического эффекта от применения новых технологических процессов, механизации и автоматизации производства, способов организации производства и труда, обеспечивающих экономию производственных ресурсов при выпуске одной и той же продукции, производится по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2)A_2, \quad (8.2)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, руб.,  $Z_1$  и  $Z_2$  – приведенные затраты на единицу продукции, производимой с помощью базовой и новой техники (технологии);  $A_2$  – годовой объем производства продукции с помощью новой техники в учетном году в натуральных единицах.

Расчёт годового экономического эффекта от производства и использования новых средств труда долговременного применения (машины, оборудование приборы и т.д.) производится по формуле:



$$\Theta = \left[ 3_1 \frac{B_2}{B_1} \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(U'_1 - U'_2) - E_n(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] A_2, \quad (8.3)$$

где  $3_1$  и  $3_2$  – приведенные затраты единицы соответственно базового и нового средства труда, определяемые по формуле, руб.

$\frac{B_2}{B_1}$  – коэффициент роста производительности единицы нового средства труда по сравнению с базовым;

$B_1$  и  $B_2$  – годовые объемы продукции работы, производимой при использовании единицы соответственно базового и нового средства труда в натуральных единицах;

$\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$  – коэффициент учета срока службы нового средства труда по сравнению с базовым;

$P_1$  и  $P_2$  – доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базового и нового средства труда, соответственно.

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$\frac{(U'_1 - U'_2) - E_n(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_n}$  – экономия потребителя на текущих издержках эксплуатации и отчислениях от сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы нового средства труда по сравнению с базовым, руб.;

$K'_1$  и  $K'_2$  – сопутствующие капитальные вложения (без учета стоимости рассматриваемых средств труда) при использовании базового и нового средства труда в расчете на объем производства продукции (работы), производимой с помощью нового средства труда, руб.;

$U'_1$  и  $U'_2$  – годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании им базового и нового средства труда в расчете на объем продукции (работы), производимой с помощью нового средства труда, руб.;

$A_2$  – годовой объем производства новых средств труда в расчетном году в натуральных единицах.

Расчет годового экономического эффекта от производства и использования новых или усовершенствованных предметов труда (материалы, сырье, топливо), а также средств труда со сроком службы менее одного года производится по формуле:

$$\Theta = \left[ 3_1 \frac{Y_2}{Y_1} + \frac{(U'_1 - U'_2) - E_n(K'_2 - K'_1)}{Y_2} - 3_2 \right] A_2, \quad (8.4)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – приведенные затраты на единицу соответственно базового и нового предмета труда, руб.;

$Y_1$  и  $Y_2$  – удельные расходы соответственно базового и нового предмета труда в расчете на единицу продукции (работы), выпускаемой потребителем, в натуральных единицах;

$U'_1$  и  $U'_2$  – затраты на единицу продукции (работы), выпускаемой потребителем при использовании соответственно базового и нового предмета труда без учета их стоимости, руб.;

$K'_1$  и  $K'_2$  – сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании им соответственно базового и нового предмета труда в расчете на единицу продукции (работы), производимой с применением нового предмета труда, руб.;

$A_2$  – годовой объем производства нового предмета труда в расчетном году в натуральных единицах;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Расчет годового экономического эффекта от производства и использования новой техники, применяемой в нескольких сферах потребления, производится по формуле:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i A_i, \quad (8.5)$$

$\mathcal{E}_i$  – годовой экономический эффект от производства и использования единицы новой техники, применяемой в  $i$ -й сфере потребления, руб. (База сравнения в расчете принимается индивидуально по каждой сфере потребления новой техники);  $A_i$  – часть выпуска новой техники в расчетном году, предназначенной для применения в  $i$ -й сфере потребления, натуральных единицах;  $n$  – количество сфер потребления новой техники.

Расчет годового экономического эффекта от производства продукции повышенного качества и продукции на основе изобретений и рационализаторских предложений производится по формуле

$$\mathcal{E} = (\Pi - E_n K) A_2, \quad (8.6)$$

где  $\Pi$  – прирост прибыли ( $\Pi_2 - \Pi_1$ ) от реализации продукции повышенного качества;  $\Pi_2$  – прибыль от реализации продукции повышенного качества, руб.;  $\Pi_1$  – прибыль от реализации продукции прежнего качества, руб.;  $K$  – удельные дополнительные капитальные вложения, связанные с повышением качества продукции, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент капитальных вложений;  $A_2$  – годовой объем новой продукции или продукции повышенного качества в расчетном году в

натуральных единицах.

Оформление расчетов экономического эффекта выполняется по следующей форме:

- название расчета (предварительный, уточненный и т.д.) и внедряемого мероприятия по новой технике;
- краткая аннотация мероприятия (преимущества внедряемого мероприятия по сравнению с базовым вариантом);
- исходные данные для расчетов;
- расчет экономии по изменяющимся статьям текущих затрат по вариантам;
- расчет предпроизводственных и капитальных вложений по вариантам;
- расчет годового экономического эффекта и составление сводной таблицы экономической эффективности мероприятия новой техники.

Расчеты предварительного экономического эффекта выполняется и подписывается главным разработчиком («исполнителем») с учетом данных, представленных соисполнителями. Расчеты проверяются и визируются лицом, ответственным за правильность их выполнения, подписываются руководителем темы и утверждаются руководителем предприятия («заказчик»).

На стадии окончания НИР расчет ожидаемого экономического эффекта уточняется на основе полученных экспериментальных и опытных данных, а также промышленных испытаний образцов новой техники. Результаты расчета ожидаемого (уточненного) экономического эффекта находят отражение в акте об окончании работы.

При расчете фактического экономического эффекта технико-экономические показатели внедрения мероприятия по новой технике непосредственно сравниваются с базовыми показателями (до внедрения мероприятия) предприятия, где было внедрено данное мероприятие. Документами, подтверждающими факт внедрения, являются акт внедрения и приложенный к нему расчет экономического эффекта.

Материалы экономических расчетов должны быть частью научно-технического отчета о работе. Данные об экономическом эффекте необходимы для определения эффективности НИР и всего научного подразделения в целом.

#### **8.4. Определение долевого участия исполнителей в экономическом эффекте**

Экономический эффект от внедрения в производство результатов НИР, ОКР и технологических работ является комплексным итогом деятельности научных, проектных, конструкторских и технологических организаций, производственных предприятий, строительных организаций.

Определение долевого участия вызывается необходимостью установить многократный учет одной и той же суммы экономии, а также правильно оценить вклад всех участников технической подготовки производства в создание и внедрение новой техники.

При определении долевого участия в экономическом эффекте использования общих теоретических положений и справочных материалов также не должно учитываться. Распределение экономического эффекта по составляющим цикла исследование – производство проводится по отдельным стадиям работ, которые обычно выполняются отдельными специализированными организациями (научно-исследовательскими, конструкторскими, проектными), по отдельным видам и этапам работ внутри каждой стадии исследования и технической подготовки производства.

В настоящее время не разработано единой методики, позволяющей определить участие исполнителей комплексных работ в получении экономического эффекта. Однако действующие методические положения о порядке экономического стимулирования за внедрение новой техники рекомендуют относить на научно-исследовательские организации, выполняющие исследовательские и проектно-конструкторские работы, от 30 до 50% экономического эффекта; на организации, выполняющие технологические работы по подготовке производства, – от 20 до 30%; на освоение и организацию производства новой техники – от 25 до 40% экономического эффекта. В отдельных случаях допускаются обоснованные расчеты уточнения этих величин в зависимости от характера работ и степени участия научно-исследовательских организаций в создании и внедрении новой техники.

В качестве критериев в определении долевого участия каждой организации принимают затраты на НИР, либо заработную плату на ее выполнении с учетом творческого вклада каждой организации. Укрупненной характеристикой творческого участия организаций в

создании экономического эффекта являются коэффициенты значимости («творчества»), которые принимают: для проектных организаций на стадии освоения – 1,0; для конструктивных – 1,5; научно-исследовательских – 2,6, научно-исследовательских организаций, ведущих фундаментальные исследования – 3,5. В этом случае доля эффекта будет определяться по формуле

$$\mathcal{E}_{НИР} = K_{ДНИР} \mathcal{E}_{нх}, \quad (8.7)$$

$\mathcal{E}_{НИР}$  – экономический эффект от НИР;  $K_{ДНИР}$  – коэффициент долевого участия в общем годовом народно-хозяйственном эффекте  $\mathcal{E}_{нх}$ .

Коэффициент долевого участия определяется по формуле:

$$K_{Д_i} = \frac{Z_i K_{зні}}{\sum_{i=1}^n Z_i K_{зні}}, \quad (8.8)$$

где  $Z_i$  – затраты по заработной плате на  $i$ -й стадии технической подготовки производства;  $K_{зні}$  – коэффициент значимости (творчества)  $i$ -й стадии;  $n$  – количество стадий в цикле исследование-производство.

Исходя из приведенной формулы, можно заключить, что сумма коэффициентов долевого участия по всем стадиям, равна единице:

$$\sum_{i=1}^n K_{Д_i} = 1.$$

Таким образом, определив долю экономического эффекта по соответствующей стадии цикла «исследование – создание – производство», в дальнейшем можно распределить эту долю по видам работ и в конечном счете по конкретным исполнителям работы. В случае одинакового творческого вклада (т.е. равенства  $K_{зні}$ ) эффект распределяется пропорционально фонду заработной платы исполнителей.

При более детальной оценке творческого уровня работ, выполненных отдельными исполнителями, находит применение бальная оценка с учетом математического веса отдельных характеристик.

В качестве основных характеристик, оценивающих творческий уровень работы, принимают степень новизны, уровень теоретической обоснованности и степень экспериментальной проверки результатов. В тех случаях, когда не представляется возможным применение шкалы балльных оценок, коэффициент творческого уровня может быть установлен экспертным путем, как правило, руководителями комплекса работ (темы) по согласованию с соисполнителями.

## 8.5. Расчет коэффициентов экономической эффективности НИР

Определение экономической эффективности НИР завершается расчетом коэффициентов экономической эффективности, характеризуемых отношением экономического эффекта к затратам, вызвавшим этот эффект. Эти коэффициенты необходимы для оценки деятельности научно-исследовательских коллективов.

Коэффициент предварительной экономической эффективности научно-исследовательской работы  $E_{НИР}^{пп}$  :

$$E_{НИР}^{np} = \frac{\mathcal{E}_{НИР}^{np}}{З_{пл}}, \quad (8.9)$$

$E_{НИР}^{пп}$  – предварительный экономический эффект от НИР с учетом долевого участия;  $З_{пл}$  – намечаемые по плану проведенные затраты на выполнение работы.

Коэффициент ожидаемой экономической эффективности НИР с учетом фактора времени за период:

$$E_{НИР}^{ож} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_i}{(1+E)^{t_i}}}{\sum_{j=1}^N З_j (1+E)^{t_j}}, \quad (8.10)$$

где  $\mathcal{E}_i$  – экономический эффект, получаемый в  $i$ -м году расчетного периода, с учетом долевого участия,  $n$  – число лет в расчетном периоде;  $t_i$  –  $i$ -й год расчетного периода;  $t_j$  –  $j$ -й год осуществления предпроизводственных затрат;  $N$  – число лет осуществления предпроизводственных затрат;  $З_j$  – предпроизводственные затраты, осуществляемые в  $j$ -м году.

Коэффициент плановой экономической эффективности:

$$E_{НИР}^{пл} = \frac{\mathcal{E}_z^{пл}}{З_\phi}, \quad (8.11)$$

где  $\mathcal{E}_z^{пл}$  - плановый годовой экономический эффект с учетом долевого участия;  $З_\phi$  – фактические затраты на выполнение НИР с учетом фактора времени.

Коэффициент фактической экономической эффективности НИР:

$$E_{НИР}^{\phi} = \frac{\mathcal{E}_z^{\phi}}{З_\phi}, \quad (8.12)$$

где  $\mathcal{E}_z^{\phi}$  – фактический годовой экономический эффект с учетом долевого участия.

## **9. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМ КОЛЛЕКТИВОМ**

Под организацией научных исследований понимают систему взаимосвязанных структур и функций, обеспечивающих оптимальный режим и непрерывное совершенствование научного труда с целью получения наилучших результатов.

В соответствии с иерархией структур научных учреждений и ведомств различают организацию научных исследований на различных уровнях: организация труда научного работника, работы подразделений научного учреждения, деятельности научного учреждения и т.д.

Важное место в совокупности основных принципов занимает научная организация труда, основные положения которой предусматривают высокую организованность труда научного работника, строгое соблюдение режима и гигиены умственного труда, плановость научной работы, контролирование и точное фиксирование результатов работы, обеспечение резерва (задела) в научной работе, использование средств для механизации и автоматизации вспомогательных операций и др.

Научное творчество становится всё более коллективным. Поэтому особое внимание приобретают вопросы организации научных коллективов, структура которых должна обеспечить возможность кооперации и специализации труда ученых.

В настоящее время наиболее распространена четырехзвенная структура научного учреждения: группа, лаборатория, отдел, учреждение (или группа, кафедра, факультет, институт).

Оптимальный состав группы – 3...10 научных работников и 5...10 человек вспомогательного персонала. Состав лабораторий колеблется от 20 до 60 человек.

Однако не только количество научных сотрудников определяет результат научной работы. Большое значение имеет подбор их по квалификации и специальности. Существенную роль играет руководитель коллектива, который обязан последовательно проводить меры по сплочению коллектива вокруг общих целей.

В научном учреждении образуют Совет, который является совещательным органом при директоре (ректоре). В состав Совета входят руководители учреждения, его отделов, лабораторий, ведущие ученые и представители общественных организаций. Совет рассматривает научные и технические проблемы, планы, работу отделов и

лаборатории и др.

Управление научными исследованиями представляет собой целенаправленное воздействие на коллективы научных работников для организации и координации их деятельности в процессе производства новых, научных знаний и эффективного использования их на практике.

Различают экономические, организационно-распорядительные и социально-психологические методы управления исследованиями.

Экономические методы определяются экономическими отношениями и уровнем развития экономики страны.

Организационные методы существуют в форме организационного и распорядительного воздействия. Методы организационного воздействия определяют структуру научного учреждения, нормативные документы. Так как структура и документы изменяется через относительно длительные промежутки времени, то и организационное воздействие имеет периодический характер. Распорядительное воздействие более активная и гибкая форма. Оно направлено на устранение различных отклонений от поставленных задач и реализуется в форме приказов и распоряжений.

Социально-психологические методы учитывают специфику творческого интеллектуального труда в сфере науки. Эффективность научного творчества в значительной степени зависят от подбора научных работников, от воздействия на их психику со стороны руководителей, коллег – членов коллектива. Это воздействие осуществляется через определенные формы поощрения.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикий Н. А. Основы научных исследований / Н. А. Дикий, А. А. Халатов. – Киев: Виша школа, 1985. – 224 с.
2. Левшина Е. С Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
3. Сиденко В. М. Основы научных исследований / В. М. Сиденко, И. М. Грушко. – Харьков: Гос. ун-т, 1987. – 200 с.
4. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1991. – 184 с.
5. Попков А. М. Основы научных исследований и техника эксперимента / А. М. Попков, В. Н. Голиков, Н. Л. Зайцев. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001. – 125 с.
6. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М.: Мир, 1967. – 407 с.
7. Соловьев В. А. Элементарные методы обработки результатов измерений: учеб. пособие / В. А. Соловьев, В. Е. Яхонтова. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 72 с, ил.